

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 004.7:654.198

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Г.Г.Власюк

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” грудня 2018 р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності 171 «Електроніка»  
(код і назва спеціальності)

на тему: «Шляхи забезпечення якості обслуговування в безпроводових мультисер-  
вісних мережах стандарту 802.11»

Виконала студентка VI курсу, групи ДВ-71мп  
(шифр групи)

Ануансах Ріта Бенуйва

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент к.т.н., доц Лазебний В. С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без від-  
повідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) \_\_\_\_\_ Факультет електроніки \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) \_\_\_\_\_ 171 «Електроніка» («Електронні та інформаційні технології кінематографії та аудіовізуальних систем») \_\_\_\_\_  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Г.Г.Власюк \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
Ануансах Ріта Бенуйва  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Шляхи забезпечення якості обслуговування в безпроводових мультисервісних мережах стандарту 802.11»

керівник роботи Лазебний Володимир Семенович к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018р. №4114-с

2. Термін подання студентом роботи 10.12.2018р.

3. Об'єкт дослідження. – технології передавання мультимедійної інформації засобами безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11.

4. Вхідні дані до роботи :Нормативні документи, що забезпечують якісні показники в безпроводових мультимедійних мережах.

5. Зміст роботи

1. Параметри і характеристики найбільш поширення аудіо кодеків, які впливають на якість передавання звукової інформації інформаційними мережами.

2. Експлуатаційні характеристика безпроводових мереж стандарту IEEE802.11

3. Вимоги до параметрів мережі для забезпечення якості передавання мультиме-

дійних даних засобами інформаційних мереж та з'ясувати ефективність запропонованих засобів для підвищення якості передавання мультимедійного трафіка мережами 802.11.

4. Дослідження реальної пропускної здатності безпроводових мереж на прикладі стандарту 802.11

6. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

1) Загальна характеристика атестаційної роботи; 2) параметри і характеристики найбільш поширених аудіо кодексів, які впливають на якість передавання звукової інформації інформаційними мережами 3) Експлуатаційні характеристики безпроводових мереж стандарту IEEE802.11

7. Орієнтовний перелік публікацій 1.Особливості технологій доступу до безпроводового каналу мережіWi-Fi. 2. Забезпечення якісних показників в безпроводових мультимедійних мережах, 3. Особливості технологій доступу до безпроводового каналу мережіWi-Fi.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10.09.2017

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Опрацювання матеріалу до розділу: “ характеристики мультимедійних мереж ”	10.10.2017	
2	Опрацювання матеріалу до розділу: “ характеристики мультимедійного трафіку ”	15.12.2017	
3	Опрацювання матеріалу до третього розділу: “ Технологія Wi-Fi ”	01.05.2018	

5	Опрацювання матеріалу до четвертого розділу: “ Структура досліджуваної мережі та характеристики експериментального обладнання ”	10.10.2018	
6	Опрацювання матеріалу до п'ятого розділу “ розроблення стартап-проекту”	09.11.2018	
7	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	25.11.2018	
8	Підготовка та оформлення плакатів для доповіді	30.11.2018	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(Ануансах Р.Б)  
(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
( Лазебний В.С.)  
(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 121 с., 25 рис.; 5 дод.; 30 джерела.

DCF, DIFS, MAC, PCF, SIFS, WI-FI, БЕЗПРОВОДОВА МЕРЕЖА, МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДАНИХ, ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ, РІДОКАНАЛ, СТАНДАРТ 802.11, ПАРАМЕТРИ ТРАФІКУ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, ШВИДКІСТЬ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ.

**Об'єктом дослідження** є технології передавання мультимедійної інформації засобами безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11.

**Метою дисертації** дослідити загальні характеристики мультимедійного трафіка, з'ясувати вимоги до параметрів мережі для забезпечення якості передавання мультимедійних даних засобами інформаційних мереж та з'ясувати ефективність запропонованих заходів для підвищення якості передавання мультимедійного трафіка мережами 802.11.

**Результатом дослідження** є узагальнення інформації стосовно впливу різних чинників на якість функціонування безпроводової мережі; розроблення розрахункових співвідношень для оцінювання ефективності застосування різних мінімальних значень конкурентного вікна  $CW_{min}$  між кадрових інтервалів AIFS для здійснення пріоритезації мультимедійного трафіка; експериментальна перевірка реальної пропускної здатності безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11.

**Предметом дослідження** є параметри та характеристики, що впливають на якість надання телекомунікаційних послуг.

**Методи дослідження:** теоретичний із застосуванням теорії безпроводових телекомунікаційних мереж; порівняльний аналіз для виявлення особливостей різних специфікацій стандарту 802.11; критичний аналіз для з'ясування особливостей функціонування безпроводових мереж за умов їх широкого розповсюдження; натурний експеримент для перевірки правильності отриманих теоретичних результатів.

**Список публікацій здобувача за темою дисертації:** 1. Ануансах Р.Б, Забезпечення якісних показників в безпроводових мультимедійних мережах, Конференція молодих вчених "Електроніка 2018", – НТУУ КПІ ім. Сікорського, м. Київ, 2018.2 Ануансах Р.Б Забезпечення якісних показників в безпроводових мультимедійних мережах. Тези доповідей студентів та аспірантів на традиційній конференції кафедри звукотехніки та реєстрації інформації 25 квітня 2018, – НТУУ КПІ ім. Сікорського, м. Київ, 2018.

3. Ануансах Р.Б.Особливості технологій доступу до безпроводового каналу мережі Wi-Fi. Тези доповідей студентів та аспірантів на традиційній конференції кафедри звукотехніки та реєстрації інформації 28 листопад 2018, – НТУУ КПІ ім. Сікорського, м. Київ, 2018.

## THE SUMMARY

DCF, DIFS, MAC, PCF, SIFS, WI-FI, NETWORK SAFETY, MULTIMEDIA DATA, QUALITY INDICATORS,, RADIOCHANNEL, STANDARD 802.11, TRAFFIC PARAMETERS, TRANSFERRED POWER, DATA TRANSMISSION SPEED

**The object of the research** is to provide quality indicators in wireless multimedia networks.

**The purpose of the dissertation** is the general characteristics of multimedia traffic, to find out the requirements to the network parameters for ensuring the quality of the transmission of multimedia data by means of information networks and to find out the effectiveness of the proposed means for improving the quality of multimedia traffic transmission through 802.11 networks. Research of real bit rate of wireless networks in the example of the standard 802.11 in the case of streaming video content in saturated mode and determining ways to increase bandwidth for security Unlimited wireless multimedia services.

**The result of the study** is to find out the requirements for network parameters to ensure the quality of the transmission of multimedia data by means of information networks and to find out the effectiveness of the proposed means for improving the quality of multimedia traffic transmission through 802.11 networks.

**The subject** of the study is how to improve the bandwidth of the Wi-Fi network.

**Methods of research:** theoretical with application of the theory of wireless telecommunication networks; benchmarking to identify the features of various specifications of the 802.11 standard; full-scale experiment to verify the theoretical results obtained.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	10
Вступ.....	13
1 Характеристики мультимедійних мереж.....	18
1.1. Класифікація мультимедійних мереж.....	19
1.2.Різновиди послугу із застосуванням мультимедійної інформації.....	21
2 Характеристики мультимедійного трафіку.....	25
2.1 Класифікація трафіку мультимедійних мереж.....	25
2.2 Загальний підхід до параметризації мультимедійного трафіку.....	28
2.3 Параметри якості обслуговування у мережах з мультимедійним трафіком .....	31
2.4 Особливості кодеків аудіовізуальної інформації для мереж з мультисервісними послугами.....	36
2.4.1 Аналіз параметрів та характеристик аудіо кодеків.....	36
2.4.2 Аналіз параметрів та характеристик відеокодеків.....	39
3 Технологія Wi-Fi.....	44
3.1 Загальна характеристика.....	44
3.1.1 Аналіз функціонування безпроводових мереж у неліцензованих діапазонах.....	46
3.1.2 Зміни умов функціонування мереж у діапазоні 5ГГц.....	50
3.1.3 Особливості використання частотних ресурсів після впровадження специфікації IEEE802.11ac.....	51
3.1.4 Особливості застосування динамічного вибору частоти для збільшення ефективності використання діапазону 5 ГГц.....	53
3.2 Особливості застосування специфікації IEEE 802.11e для передавання мультимедійної інформації.....	57
3.2.1. Аналіз механізмів удосконалення канального рівня для забезпечення якості надання інформаційних послуг.....	57
3.2.2 Принципи організації удосконаленого розподіленого доступу до каналу за специфікацією IEEE802.11e.....	57
3.2.3 Особливості організації поліпшеного розподіленого доступу до	

каналу за специфікацією IEEE 802.11e .....	63
3.2.4 Оцінювання ефективності застосування змінних значень параметра CWmin.....	65
3.2.5 Оцінювання ефективності застосування змінних значень тривалості AIFS.....	69
3.2.6 Оцінювання можливості використання в одному сегменті безпроводової мережі станцій EDCAAC_BE разом зі станціями в режимі DCF.....	75
4 Структура досліджуваної мережі та характеристики експериментального обладнання .....	83
4.1 Аналіз результатів експерименту.....	85
4.2 Порівняння результатів експерименту з параметрами, зазначеними у специфікації.....	89
5 Розроблення стартап-проекту.....	91
5.1 Опис ідеї проекту.....	91
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	93
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	94
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	101
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	102
6 Рекомендації щодо планування та налаштування безпроводової мережі.....	107
Висновки .....	110
Перелік джерел посилання.....	113
Додаток А.....	116



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

RT	– RealTime , реальному часі
NRT	– NonReal-time; не реальному часі
ARQ	– AutomaticRetransmissionrequest, запит про повторну передачу втрачених / пошкоджених пакетів.
CSMA/CA	– Carrier Sense MultipleAccess with Collision Avoidance, множинний доступ з контролем носійної та уникнення колізій;
CSMA/CD	– Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, множинний доступ з прослуховуванням носійних і виявлення колізій;
CW	– Competition Window, конкурентна вікно;
DBPSK	– Differential Binary Phase Shift Keying, диференційна двійкова фазова маніпуляція;
DCF	– Distributed Coordination Function, розподілений режим доступу до середовища;
DIFS	– DCF Inter Frame Spac, міжкадровий інтервал режиму DCF;
DQPSK	– Differential Quadrature Phase Shift Keying, диференційна квадратурна фазова маніпуляція;
DSSS	– Direct Sequence Spread Spectrum, розширення спектру радіосигналу з застосуванням прямої послідовності;
DVB-T	– Digital Video Broadcasting – Terrestrial, стандарт цифрової теле-трансляції, наземний;
FEC	– Forward Error Correction, упереджувальна корекція помилок;
FHSS	– frequency-hopping spread spectrum, метод псевдовипадкової перебудови робочої частоти;
FTP	– File Transfer Protocol, протокол передавання файлів;
GI	– Guard Interval, циклічне повторення закінчення символу, що

	відраховується на початку передавання символу;
HD	– High definition, зображення високої чіткості;
HT	– High Throughput, Висока пропускна здатність;
IFS	– Inter Frame Space, часовий захисний інтервал;
ISI	– Inter-Symbol Interference, затримки через міжсимвольні завади;
ISO/OSI	– Open Systems Interconnection Basic Reference Model, базова еталонна модель взаємодії відкритих систем;
LLC	– Logical Link Control, підрівень логічного передавання даних;
MAC	– Media Access Control, підрівень управління доступом до середовища;
MIMO	– Multiple-Input Multiple-Output, Багатоканальний вхід/вихід;
MU-MIMO	– Multi-User Multiple-Input, Multiple-Output багатокористувачький Багатоканальний вхід/вихід;
OFDM	– Orthogonal frequency-division multiplexing, мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів;
OFDMA	– Orthogonal Frequency Division Multiple Access, множинний доступ з ортогональним частотним розподілом;
PCF	– Point Coordination Function, централізований режим доступу до середовища;
PHY	– фізичний рівень;
PIFS	– PCF Inter Frame Space, міжкадровий інтервал режиму PCF;
PLCP-заголовок	– Physical Layer Convergence Protocol, протокол збіжності фізичного рівня;
QAM	– Called Quadrature Amplitude Modulation, квадратурна амплітудна модуляція;
RTS/CTS	– Request To Send / Clear To Send, механізм "запит-відповідь";
SD	– Standard-definition, зображення стандартної чіткості;

SIFS	– Short Interframe Space, короткий часовий захисний інтервал;
TCP	– Transmission Control Protocol, протокол управління передаванням;
TELNET	– Teletype Network, мережний протокол для реалізації текстового інтерфейсу;
UDP	– User Datagram Protocol, протокол користувацьких датаграм;
Wi-Fi	– Wireless Fidelity, торгова марка Wi-Fi Alliance та загальноновживана назва для стандарту IEEE 802.11 передавання цифрових потоків даних по радіоканалах;

## ВСТУП

Безпроводові технології – інформаційні технології, призначені для бездротової передачі інформації на відстані між двома або більше об'єктами. Інфрачервоне випромінювання, радіохвилі, оптичне або лазерне випромінювання можуть використовуватися для передачі інформації. Сьогодні є багато безпроводових технологій, відомих користувачам під їх маркетинговими іменами, такими як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth тощо.

У сьогоднішніх безпроводових мережах передають великі обсяги мультимедійного трафіку. Для успішного передачі певних типів такого трафіку повинні бути надані певні параметри телекомунікаційних мереж. У випадку великої інтегрованої інтенсивності трафіку можуть бути неприпустимі затримки пакетів та втрати пакетів, що, зрештою, призводить до низькоякісних телекомунікаційних та інформаційних послуг.

Технології безпроводового зв'язку сьогодні стрімко розвиваються. Це пов'язано зі збільшенням кількості мобільних комп'ютерів, які підключаються до мережі Інтернет, який вже досяг неймовірних масштабів в своєму розвитку. Постійний доступ до мережі Інтернет за останні роки став невід'ємною частиною життя для населення цивілізованих країн.

У різних галузях промисловості, сільському господарстві, у військовій сфері виникає необхідність в організації надійних систем управління розподіленими об'єктами і об'єднанням їх в глобальну мережу. Подібні тенденції спостерігаються в усьому світі і ведуть до неминучого розвитку безпроводових технологій зв'язку.

З розвитком технологій невід'ємною частиною стало надання необмежених безпроводових мультимедійних послуг. Для потокового передавання медіаданих основною вимогою до технології є висока бітова швидкість. Максимальна швидкість передавання даних в безпроводових мережах, яку передбачено стандартами,

дозволяє передавати великі потоки даних в реальному часі без затримки. На практиці пропускна здатність каналу значно менша, оскільки в стандартах не враховано час на передавання службових повідомлень та випадок насиченого навантаження каналу передавання, що на сьогоднішній день є актуальною проблемою. Отже, необхідно з'ясувати реальну бітову швидкість безпроводових мереж у випадку передавання потокового відеоконтенту в насиченому режимі та визначити шляхи збільшення пропускної здатності для забезпечення необмежених безпроводових мультимедійних послуг. Тому, можна стверджувати, що тема магістерської дисертації є **актуальною**.

**Метою роботи** є дослідити загальні характеристики мультимедійного трафіка, з'ясувати вимоги до параметрів мережі для забезпечення якості передавання мультимедійних даних засобами інформаційних мереж та з'ясувати ефективність запропонованих заходів для підвищення якості передавання мультимедійного трафіка мережами 802.11. реальної пропускної здатності безпроводових мереж на прикладі стандарту 802.11 у випадку передавання потокового відеоконтенту та забезпечити необхідний рівень якості надання мультимедійних послуг засобами безпроводових мереж 802.11

Для досягнення даної мети необхідно виконати такі **завдання**:

- Дослідити які якісні показники використовують для характеристики мультимедійного трафіка і від чого вони залежить.
- Здійснити аналіз роботи безпроводових технологій стандарту 802.11 та його специфікацій;
- Визначити шляхи оптимізації процесу передавання відеоконтенту в реальному часі;
- Зробити експериментальне дослідження реальної пропускної здатності каналу передавання мережі Wi-Fi у випадку роботи в насиченому режимі;
- Проаналізувати параметри і характеристики найбільш поширення аудіо

кодеків які впливають на якість передавання звукової інформації інформаційними мережами.

- Дослідити вимоги до параметрів телекомунікаційних мереж для забезпечення якісних показників мультимедійних послуг.
- Зробити порівняння теоретичних та експериментальних значень та визначити шляхи забезпечення якості надання мережних послуг.

**Об’єктом дослідження** є технології передавання мультимедійної інформації засобами безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11.

**Предметом дослідження** є параметри та характеристики, що впливають на якість надання телекомунікаційних послуг.

**Методи дослідження:** теоретичний із застосуванням теорії безпроводових телекомунікаційних мереж; порівняльний аналіз для виявлення особливостей різних специфікацій стандарту 802.11; критичний аналіз для з’ясування особливостей функціонування безпроводових мереж за умов їх широкого розповсюдження; натурний експеримент для перевірки правильності отриманих теоретичних результатів.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- узагальнено інформацію стосовно впливу різних чинників на якість функціонування безпроводової мережі;
- отримано розрахункові співвідношення для оцінювання ефективності застосування різних мінімальних значень конкурентного вікна  $CW_{min}$  між кадрових інтервалів AIFS для здійснення пріоритезації мультимедійного трафіка;
- експериментально перевірено реальну пропускну здатність безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11.

**Практичне значення** отриманих результатів. Запропоновані рекомендації, на підґрунті здійснених у дисертації досліджень, будуть корисними проектувальникам та користувачам безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11 для забезпе-

чення якості надання телекомунікаційних та інформаційних послуг. Наведені в дисертації результати досліджень можуть бути використані у навчальному процесі для підготовки фахівців, що спеціалізуються у сфері надання мультимедійних послуг або використовують безпроводові мережі у своїй професійній діяльності.

### **Апробація результатів дисертації.**

Результати дисертаційних досліджень було оприлюднено на XI Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених «ЕЛЕКТРОНІКА-2018», 3-5 квітня 2018 року, Київ, Україна;

та двох науково-технічних конференціях:

– Науково-технічна конференція студентів, аспірантів та науковців «Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі. 25 травня 2018 р., Київ.

– I Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем», 26-28 листопада 2018 р., Київ.

### **Публікації за темою дисертації:**

1. Ануансах Р.Б, Забезпечення якісних показників в безпроводових мультимедійних мережах: Збірка доповідей XI Міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених «ЕЛЕКТРОНІКА-2018», 3-5 квітня 2018 року, Київ / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2018. – С. 398-402.

2 Ануансах Р.Б Забезпечення якісних показників в безпроводових мультимедійних мережах/ Наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та науковців «Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі: тези доп., 25 травня 2018 р. Київ / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2018. – С. 42-43.

3. Ануансах Р.Б. Особливості технологій доступу до безпроводового каналу мережі

Wi-Fi: I Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем», тези доп., 26-28 листопада 2018 р., Київ / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2018. – С. 8-11.



## 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ МЕРЕЖ

Сьогодні мультимедіа технології – один із перспективних напрямів у інформатизації навчального процесу. Мультимедіа та гіпермедіа технології інтегрують у собі потужні розподілені освітні ресурси, що здатні забезпечити середовище для формування та розвитку ключових компетентностей, до яких відносяться в першу чергу інформаційна й комунікативна.

Мультимедіа та телекомунікаційні технології відкривають принципово нові методичні підходи до організації педагогічного процесу в системі загальної освіти. Не менш важливим є й те, що інтерактивні технології на основі мультимедіа дозволять розв'язати проблему "провінціалізму" сільської школи як на базі Інтернет-комунікацій, так і за рахунок інтерактивних CD-курсів і використання супутникового Інтернету у школах.

Мультимедіа – це система комплексної взаємодії візуальних і аудіоефектів під управлінням інтерактивного програмного забезпечення з використанням сучасних технічних і програмних засобів, які об'єднують текст, звук, графіку, фото, відео тощо в одному цифровому відтворенні.

Мультимедіа (лат. Multum + Medium) – комбінування різних форм подання інформації на одному носіїві, наприклад, текстової, звукової і графічної, або, останнім часом все частіше – анімації і відео. Характерна, якщо не визначальна, особливість мультимедійних веб-вузлів і компакт-дисків – гіперпосилання. Поняття, що означає сполучення звукових, текстових і цифрових сигналів, а також нерухомих і рухомих образів. Так, мультимедійна база даних буде вміщувати текстову і образну інформацію, відеокліпи і таблиці, і все це має однаково легкий доступ. Мультимедійна телекомунікаційна послуга дозволяє користувачеві посилати і одержувати будь-яку форму інформації, взаємозамінну за бажанням.

## 1.1 Класифікація мультимедійних мереж

Мультимедійна класифікація з точки зору мережі, всі типи носіїв можуть бути класифіковані як в реальному часі (RealTime – RT), так і в режимі не реального часу (NonReal-time – NRT). Типи носіїв типу RT потребують жорстких або м'яких обмежень на кінці -продовжити затримку пакетів/джитер, тоді як типи носіїв NRT, як і текстові та графічні файли, не мають жорстких обмежень затримки, але можуть мати жорсткі обмеження на помилки. У принципі існують два підходи до управління помилками[1]:

– Виявлення помилок з наступним автоматичним ретрансляційним запитом (Automatic Retransmission Request-ARQ) – запит про повторне передавання втрачених / пошкоджених пакетів. Цей підхід використовується протоколом TCP (Transport Control Protocol) , протоколом транспортного рівня в стеку протоколів TCP / IP, для забезпечення надійної служби, що орієнтована на зв'язок. Програми, які вимагають безпомилкового передавання носіїв NRT, зазвичай використовують TCP для транспортування.

– Застосування завадостійкого кодування (Correcting Forward Error Correction, FEC) – забезпечити достатню надмірність пакетів, щоб помилки могли бути виправлені без необхідності повторного передавання. Цей підхід може використовуватися протоколом UDP (User Datagram Protocol), другим протоколом транспортного рівня в стеку протоколів TCP / IP, який забезпечує бездротовий бездротовий сервіс. Програми, які обмінюються помилковими носіями типів (як RT, так і NRT), зазвичай використовують UDP для транспорту, оскільки це усуває час, втрачений при повторних передачах провели експерименти з використанням FEC разом з UDP через глобальну мережу високошвидкісної передачі даних, STARTAP[2]. Типи носіїв RT далі класифікують як дискретні носії (DM) або неперервні носії (CM) залежно від того, передають дані в дискретному квантованому вигляді як файл або повідомлення, або постійно як потік повідомлень із взає-

мозв'язком між повідомленнями. Дискретний тип медіа в режимі реального часу нещодавно отримав високу популярність через широко поширені програми, такі як MSN/Yahoo Messengers та служби обміну миттєвими повідомленнями, такі як оновлення котирувань акцій[3]. Потік реального часу також можна класифікувати як потік нечутливий до затримки або нерівномірності затримки (джитеру). Треба обережно використовувати термін "чутливість до затримки", щоб зазначати, що деякі різновиди інформаційних потоків можуть допустити більш тривалі затримки, ніж їхні аналоги, без значної деградації продуктивності. Прикладами такої інформації реального часу можуть бути аудіо- та відеопотоки, які використовують в аудіо або відеосистемах для мультимедійних мереж та комунікацій, а також на віддалених робочих столах. Потоковий аудіо / відеоматеріал, що використовують в таких програмах, як веб трансляція в Інтернеті, є прикладом потоку, для якого роблять певну попередню затримку відносно запиту. Залежність такого потоку від затримки значно зменшується завдяки наявності адаптивного буфера у приймачі, який завантажує та зберігає певну частину медіа-потoku перед початком відтворення.

Мультимедіа також може бути грубо класифікована як лінійна й нелінійна. Аналогом лінійного способу подання може бути кіно. Людина, що переглядає даний документ жодним чином не може вплинути на його зміст. Нелінійний спосіб подання інформації дозволяє людині брати участь у поданні інформації, взаємодіючи якимось чином із засобом відображення мультимедійних даних. Участь людини в даному процесі також називається «інтерактивністю». Такий спосіб взаємодії людини й комп'ютера найбільш повно представлений у категоріях комп'ютерних ігор. Також, нелінійний спосіб подання даних називається «гіпермедіа».

Як приклад лінійного і нелінійного способу подання інформації, можна розглядати таку ситуацію, як проведення презентації. Якщо презентація була записана на плівку і її показують аудиторії, то цей спосіб повідомлення інформації може

бути названий лінійним, тому що глядачі не мають можливості впливати на доповідача. У випадку з живої презентації, аудиторія має можливість задавати доповідачеві питання і взаємодіяти з ним в інший спосіб, що дозволяє доповідачеві відходити від теми презентації, наприклад пояснюючи деякі терміни або більш докладно висвітлюючи спірні частини доповіді. Таким чином, жива презентація може бути представлена, як нелінійний(інтерактивний) спосіб подачі інформації.

## **1.2 Різновиди послугу із застосування мультимедійної інформації**

Мультимедійний контент об'єднує кілька типів інформації текст, нерухомі зображення (малюнки та фотографії), рухомі зображення (мультиплікація, відео) та звук[4-7]. Головною ознакою мультимедіа є наявність інтерактивності. Завдяки використанню багатьох інформаційних елементів, мультимедійні продукти, порівняно з іншими інформаційними ресурсами, мають значно більший обсяг та надають можливість сприйняття інформації зі звуковим та відеосупроводом. Такий спосіб подачі інформації особливо корисний при інформаційному обслуговуванні осіб з особливими потребами. Інформаційна складова більшості мультимедійних продуктів супроводжується звуковим рядом. Це може бути авторський текст, коментарі, музика та інші звукові ефекти. При формуванні мультимедійного продукту для осіб з вадами зору за допомогою звуку використовується коментування події, яке інформує про зображення, що подається на екрані, та забезпечує можливість його сприйняття незрячим користувачем. Саме наявність аудіосупроводу слугує інструментом сприйняття інформації. Безперечно, синхронне використання обох мультимедійних складових відео та звуку забезпечує задіявання «зорової» та «слухової» пам'яті для сприйняття та запам'ятовування інформації користувачами інших категорій

Водночас мультимедійні продукти, що містять відео аудіоінформацію, вирізняються різноманітністю складових. Передусім, це елементи статичного відеоря-

ду, серед яких графіка (мальовані зображення), фото або скановані зображення тексту. Динамічний відеоряд також складається зі статичних кадрів, які відтворюються з різною швидкістю у звичайному відео і в анімації – близько 24 кадрів за секунду, квазі- відео (6-12 кадрів за секунду). Саме тому при використанні відеоряду слід враховувати роздільну здатність екрана, кількість кольорів та інші особливості зображення.

Одним із важливих елементів, який використовується в мультимедіа, є гіпертекст. Його особливістю є наявність у текстовому контенті спеціально виділених слів, які прив'язують до відповідних текстових фрагментів документа. Гіпертекстовість надає можливість користувачеві управляти процесом отримання релевантної інформації, переходячи за допомогою посилань до документів, що зберігаються в тематично споріднених інформаційних ресурсах. Така процедура забезпечується за допомогою значної кількості гіпертекстових форматів, серед яких HTML, DHTML, PHP та ін. Мультимедійне подання інформації з використанням гіпертекстових посилань становлять основу системи гіпермедіа. Інформаційні продукти, створені за допомогою такої технології, переважно великого обсягу. В інформаційних продуктах, створених на основі гіпермедіа, можуть бути присутні й інші складові мультимедіа, зокрема графіка, відеофрагменти, аудіоконтент, текстове подання інформації. Кожна із цих складових може бути представлена у форматах AVI (Audio Video Interleave), MIDI (Musical Instrument Digital Interface), SWF (Shockwave Flash) та VRML (Virtual Reality Modeling Language). Розглянемо їхні особливості, переваги та недоліки.

Ефективне використання можливості одночасного відтворення різних видів інформації (рухомого і нерухомого зображення, звуку, тексту) забезпечує значні переваги та інноваційний підхід до форми подання необхідної інформації різним групам користувачів. Використання мультимедійних інформаційних технологій для забезпечення комплексних бібліотечно-інформаційних послуг дозволяє здійснювати високоякісний пошук, сортування, вибірку та порівняння інформації, а та-

кож збереження й опрацювання великої кількості різноманітної інформації завдяки наявності множини аналітичних процедур. Такий підхід надає можливість можливість компонування інформації у зручному вигляді на основі принципів технології мультимедіа, які забезпечують її візуальне та аудіо сприймання. Базовими можливостями мультимедійних технологій в опрацюванні та збереженні інформації є можливість:

- збереження великого обсягу найрізноманітнішої інформації;
- багатократне збільшення зображення або його фрагментів при збереженні його якості;
- супроводження одних інформаційних елементів іншими, наприклад зображення подається разом із текстом чи звуком;
- використання окремих відеофрагментів з фільмів та відеозаписів функцією «стоп-кадру» або покадрового перегляду відеозапису;
- різноманітність способів опрацювання текстової, графічної та звукової інформації різними редакторами;
- надання доступу до мультимедійного контенту через мережу Internet;
- створення власних «галерей» із наявної в продукті інформації або з додаванням нової;
- створення закладок на сторінках з потрібними фрагментами та відправлення посилає на них користувачеві;
- включення до складу продукту ігрових компонентів з навчальними інформаційними складовими;
- вільної навігації в інформаційних блоках.

Важливим результатом використання мультимедійних технологій можна вважати появу мультимедійних систем, які сприяють ефективному інформаційному забезпеченню користувачів. Найчастіше використовуються дві категорії мультимедійних систем: лінійні та нелінійні. Лінійні системи працюють без навігаційної керованості при перегляді. До них належать відеоролики, змонтовані записи,

кінодокументи або некеровані презентації. Нелінійні системи мають функцію інтерактивності для можливості переходу від однієї частини до іншої та повного контролю над процесом роботи. Наглядним прикладом можуть слугувати функції гіпермедіа. Важливу роль у користуванні мультимедійним контентом відіграють можливості навігації, які забезпечують інтерактивне керування при відтворенні інформації.

### **Висновки**

Мультимедіа та гіпермедіа технології інтегрують у собі потужні розподілені освітні ресурси, що здатні забезпечити середовище для формування та розвитку ключових компетентностей, до яких відносяться в першу чергу інформаційна й комунікативна. Мультимедійна класифікація з точки зору мережі, всі типи носіїв можуть бути класифіковані як в реальному часі (RealTime – RT) та режимі не реального часу (NonReal-time – NRT). Мультимедіа також може бути грубо класифікована як лінійна й нелінійна

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ПАРАМЕТРИ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ТРАФІКУ

### 2.1 Класифікація мультимедійного трафіку

Мультимедійний трафік. Під мультимедійним трафіком розуміють цифровий потік даних, який містить різні види повідомлень, що сприймаються органами чуття людини (зазвичай звукова та/або відеоінформація) Мультимедійні дані об'єднують текст, зображення, звук, відео, анімацію, інтерактивні можливості (використання гіперпосилань) тощо.

Мультимедійні потоки даних передаються телекомунікаційними мережами з метою надання віддалених інтерактивних послуг. Найбільш поширеними мультимедійними послугами, які можуть отримати користувачі інформаційних мереж, є: відеотелефонія, високошвидкісне передавання мультимедійних даних, IP-телефонія, цифрове телевізійне мовлення, мобільний відеозв'язок, цифрове відео за запитом, дистанційний моніторинг приміщень та територій.

Залежно від типу сервісу виділяють дві основні категорії мультимедійного трафіку:

1. **Трафік реального часу**, що обслуговує мультимедійні послуги пов'язані з передаванням інформації між користувачами у реальному часі.

2. **Трафік звичайних даних**, який утворюється традиційними розподіленими послугами сучасної телекомунікаційної мережі, такими, як електронна пошта, передавання файлів, віртуальний термінал, віддалений доступ до баз даних тощо.

Прикладами послуг, що генерують трафік реального часу, можуть бути IP-телефонія, високоякісний звук, відеотелефонія, відеоконференцзв'язок, дистанційне (віддалене) медичне обслуговування (діагностика, моніторинг, консультація), відеомоніторинг, широкомовне відео, цифрове телебачення, розповсюдження радіо- і телевізійних програм

**IP-телефонія.** Даний сервіс здійснює передавання голосового трафіку (мо-



ви) між двома абонентами об'єднаної інформаційної мережі, що функціонує із застосуванням стеку протоколів TCP/IP. Для організації сервісу «IP-телефонія» може бути використано локальні, корпоративні, глобальні мережі, а також мережу Інтернет. За допомогою спеціальних шлюзів, використовуваних у телефонній мережі загального користування, забезпечується IP-телефонний зв'язок між абонентами телефонних мереж та абонентами мереж передавання даних.

**Високоякісний звук.** Це такий сервіс, який забезпечує передавання звуку у широкому динамічному діапазоні і широкій частотній смузі, наприклад, музики, концертних виступів тощо. Під час відтворення такого звуку слухач практично не відчуває спотворень, що можуть виникати через часткове обмеження параметрів звукового сигналу.

**Відеотелефонія.** Даний сервіс здійснює передавання людської мови разом з зображенням співбесідників. Звук і зображення передають в режимі реального часу з частковим обмеженням якісних показників (частотної смуги, роздільної здатності).

**Відеоконференція.** Даний сервіс забезпечує передавання голосового та відеотрафіку між групою абонентів, причому звукові і відеосигнали передають через мережу незалежно один від одного (різними транспортним потоками), їх синхронізація на приймальній стороні забезпечується відповідним протоколом транспортного рівня.

**Дистанційне медичне обслуговування.** Даний сервіс забезпечує проведення дистанційного медичного обстеження, діагностики та консультації хворих. Трафік даного сервісу складається з голосового трафіку та відеотрафіку. Результати обстеження передають у реальному часі.

**Відеомоніторинг.** Даний сервіс забезпечує можливість відеоспостереження за приміщеннями та територіями, застосовується для охорони територій різного призначення, оперативної сигналізації в разі виникнення позаштатних ситуацій, постійного (в режимі реального часу) моніторингу в місцях скупчення людей.

**Розповсюдження радіо і телевізійних програм.** Даний сервіс забезпечує розповсюдження звичайних радіо- і телевізійних програм засобами цифрової телекомунікаційної мережі.

**Цифрове телебачення.** Даний сервіс забезпечує передавання високоякісних програм цифрового телебачення (художніх фільмів, музичних відеокліпів, спортивних трансляцій) на запит клієнтів даного сервісу.

**ІР-телебачення.** Сервіс, що забезпечує розповсюдження телевізійних програм (переважно новин, спортивних репортажів тощо) для мобільних і інших користувачів через канали зв'язку з малою пропускнуою здатністю. Вимоги до якості зображення та звуку значно нижче ніж для стандартного телебачення.

Основною тенденцією у розвитку сучасних телекомунікаційних мереж є підтримка різних видів сервісу, у тому числі мультимедійного. Вимоги до мережних ресурсів обумовлені різним типом мультимедійного трафіку можуть відрізнятися досить істотно. Наприклад, звичайний трафік даних, як правило, не накладає особливих обмежень на час його доставки до одержувача. Все, що потрібно для передавання такому трафіку, – це виділення мінімальної пропускнуої здатності.

Іншим прикладом може бути трафік для забезпечення відеоконференцій у реальному часі. Для такого трафіку необхідно забезпечити не тільки значну пропускну здатність, але й мінімальну затримку часу доставки відеокадрів до адресата. Крім того, якість сеансу відеоконференції не буде задовільною, якщо затримки пакетів інформації мають занадто нерегулярний характер. У даному разі до характеристик мережі висуваються жорсткі вимоги за багатьма параметрами. Ці параметри докладніше буде розглянуто далі.

Опис і аналіз мультимедійного трафіку у сучасних телекомунікаційних мережах є складним завданням. Під час такого аналізу до уваги слід брати:

– широкий діапазон швидкостей передавання даних – від декількох кбіт/с, як у випадку телефонного трафіку, до сотень Мбіт/с – у разі передавання відеопотоків;

- різні статистичні властивості мультимедійних інформаційних потоків (трафік реального часу накладає жорсткі вимоги до ресурсів мережі);
- велике різноманіття мережних конфігурацій, різні технології і протоколи передавання (GigabitEthernet, ATM, MPLS тощо);
- багаторівнева обробка переданих повідомлень, внаслідок чого якість обслуговування виявляється залежною від кількох рівнів обробки.

## **2.2 Загальний підхід до параметризації мультимедійного трафіку**

Зазвичай мультимедійний трафік деякої послуги подають як випадковий процес  $B(t)$ .

Для параметризації мультимедійного трафіку, як правило, застосовують низку характеристик, що визначено рекомендаціями ITU-T [8-11]. Ці характеристики описують інтегральні параметри випадкового процесу  $B(t)$ , приклад реалізації якого наведено на рис. 2.1.

До характеристик трафіку, який генерується у процесі надання мультимедійних послуг, належать такі:

- величина трафіку (миттєве, максимальне, пікове, середнє і мінімальне значення), біт/с;
- коефіцієнт пульсації трафіку;
- середня тривалість пікового трафіку;
- середня тривалість сеансу зв'язку;
- формати елементів трафіку;
- максимальний, середній, мінімальний розміри пакету даних;
- інтенсивність трафіку запитів.

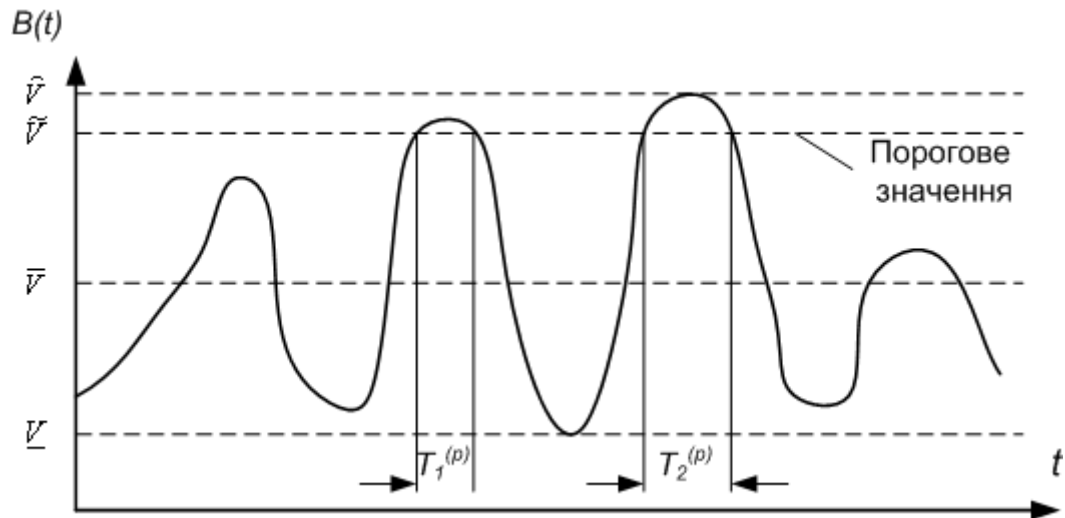


Рисунок. 2.1 – Модель мультимедійного трафіку, як випадкового процесу  $B(t)$

**Максимальне значення трафіку  $\hat{V}$ .** Максимальне число блоків інформації, що відповідний сервіс за одиницю часу, визначається як  $\hat{V} = \max B(t)$ .

**Пікове значення трафіку.** Трафік відповідного сервісу, що перевищує встановлений для нього піковий поріг  $\tilde{V}$ .

**Середнє значення трафіку  $\bar{V}$ .** Усереднене число блоків інформації, що генерує відповідний сервіс за одиницю часу, визначається як,  $\bar{V} = \frac{1}{T^{(s)}} \int_0^{T^{(s)}} B(t) dt$ , де  $T^{(s)}$  – тривалість сеансу зв'язку.

**Мінімальне значення трафіку  $\underline{V}$ .** Мінімальне число блоків інформації, яке відповідний сервіс генерує за одиницю часу, визначається як  $\underline{V} = \min_t B(t)$ .

**Коефіцієнт пульсацій трафіку  $K$ .** Визначається як відношення між максимальним і середнім значенням трафіку відповідного сервісу,  $K = \frac{\hat{V}}{\bar{V}}$ .

**Середня тривалість піку  $\bar{T}^{(p)}$ .** Середня тривалість інтервалу часу, протягом якого, відповідний сервіс генерує піковий трафік, обчислюється за формулою

$$\bar{T}^{(p)} = \frac{1}{N^{(p)}} \cdot \sum_{i=1}^{N^{(p)}} T_i^{(p)},$$

де  $N^{(p)}$  – число піків протягом сеансу зв'язку;  $T_i^{(p)}$  – тривалість  $i$ -го піку процесу  $B(t)$ ,  $i = \{1, \dots, N^{(p)}\}$ , а тривалість  $i$ -піку визначається співвідношенням

$$T_i^{(p)} = t_i^{(s)} - t_i^{(e)},$$

де  $t_i^{(s)}$ ,  $t_i^{(e)}$  – моменти початку і завершення піку, що визначаються співвідношеннями

$$t_i^{(s)} = \min t, \text{ за умов } B(t) > \tilde{V}, t > t_{i-1}^{(s)};$$

$$t_i^{(e)} = \min t \text{ за умов } B(t) > \tilde{V}, t > t_i^{(s)} \text{ за умови } t_0^{(s)}, t_0^{(e)} = 0.$$

Перераховані вище параметри використовують для опису трафіку відповідного сервісу протягом одного сеансу зв'язку з абонентом сервісу. Крім зазначених параметрів мультимедійного трафіку, для визначення вимог до параметрів інформаційної мережі, важливе значення мають наведені нижче додаткові параметри.

**Інтенсивність потоку запитів  $\mu$**  щодо надання відповідного сервісу абонентам мережі, визначається як середнє число запитів на обслуговування, що надійшли за одиницю часу.

**Середня тривалість сеансу зв'язку  $\bar{T}^{(s)}$**  – середня тривалість інтервалу часу, протягом якого обслуговується запит на дану послугу.

**Максимальний розмір пакету даних  $\hat{S}$**  – максимальний розмір елементу трафіку у бітах (елемент трафіку передається адресату як одне ціле).

**Середній розмір пакету даних  $\bar{S}$**  – середній розмір елементу трафіку у бітах.

**Мінімальний розмір пакету даних  $\underline{S}$**  – мінімальний розмір елементу трафіку у бітах.

Типові параметри трафіку для зазначених вище мультимедійних сервісів у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри трафіку мультимедійних послуг (типові значення)

Тип мультимедійного сервісу	Параметри мультимедійного трафіку					
	$\hat{V}$ , Мбіт/с	$\bar{V}$ , Мбіт/с	$K$	$T^{(P)}$ , с	$T^{(S)}$ , с	$L$ сеанс/доба
ІР-телефонія	0,064	0,064	1	100	100	5
Високоякісний звук	1	1	1	53	53	3
Відеотелефонія	10	2	5	1	100	6
Відеоконференція	10	2	5	1	1000	6
Дистанційне медичне обслуговування	10	2	5	1	1000	3
Відеомоніторинг	0,064-10	0,064-2	5	–	–	6
Передавання радіо та телевізійних програм	0,064-15	0,064-15	1	–	–	6
Цифрове телебачення	0,064-15	0,064-15	1	–	5400	6

### 2.3 Параметри якості обслуговування у мережах з мультимедійним трафіком

Під час надання інформаційної послуги кожному користувачеві має бути надано телекомунікаційне (транспортне) з'єднання, яке забезпечує відповідну якість обслуговування, згідно з міжнародними рекомендаціями та стандартами.

Виділяють такі основні параметри якості з'єднання:

- час встановлення з'єднання;
- ймовірність встановлення з'єднання;
- ймовірність розриву з'єднання;

- затримка;
- ймовірність втрати;
- джітер.

**Час встановлення з'єднання**  $t^{(cn)}$  – визначається як інтервал часу від моменту здійснення абонентом запиту на надання відповідного мультимедійного сервісу до моменту початку надання цього сервісу.

**Ймовірність встановлення з'єднання**  $P^{(cn)}$  – це відношення числа запитів, яким уже надано відповідну послугу, до загального числа запитів на цю послугу.

**Ймовірність розриву з'єднання**  $P^{(rj)}$  визначається як відношення кількості запитів, яким відповідний сервіс не був наданий повністю, до загального числа запитів, обслуговування яких було здійснено.

**Затримка**  $\tau_i$  визначається як інтервал часу між моментом початку передавання відправником  $i$ -го блоку даних відповідного трафіку до моменту закінчення приймання цього блоку його одержувачем. Затримка  $\tau_i$ , складається з часу пакетизації, передавання та розповсюдження переданих блоків даних через канали зв'язку між вузлами телекомунікаційної мережі, а також з часу очікування цих блоків у чергах проміжних комутаторів і маршрутизаторів мережі.

В асинхронній телекомунікаційній мережі затримка блоків даних може бути різною для кожного блоку і є випадковою величиною, яку визначають як

$$\tau_i = \tau_i^p + \sum_{k=1}^M \tau_{ik}^{pr} + \sum_{j=1}^N (\tau_{ij}^{sr} + \tau_{ij}^{wt}), \quad (2.1)$$

де  $\tau_i^p$  – випадкова величина часу пакетизації  $i$ -го блоку даних трафіку;  $M$  – загальна кількість каналів між двома абонентами сервісу;  $N$  – загальна кількість комутаційних пристроїв, розташованих між двома абонентами сервісу;  $\tau_{ik}^{pr}$  – випадкова величина часу розповсюдження  $i$ -го блоку даних трафіку по  $k$ -му каналу

зв'язку;  $\tau_{ij}^{sr}$  – випадкова величина часу обслуговування  $i$ -го блоку даних трафіку у  $j$ -му комутаційному пристрої;  $\tau_{ij}^{wt}$  – випадкова величина часу очікування у черзі  $i$ -го блоку даних трафіку у  $j$ -му комутаційному пристрої.

**Середня затримка**  $\bar{\tau}$  визначається як усереднене значення усіх затримок, що виникли під час передавання усіх блоків даних даного трафіку,

$$\bar{\tau} = \frac{1}{N^{(b)}} \sum_i^{N^{(b)}} \tau_i, \quad (2.2)$$

де  $N^{(b)}$  – загальна кількість доставлених блоків даних.

**Ймовірність втрати**  $P^{(rs)}$  визначається відношенням числа не доставлених адресату блоків даних до загального числа переданих блоків.

**Джитер**  $\sigma^{(\tau)}$  – визначається як різниця між максимальною  $\tau^{(\max)}$  і мінімальною  $\tau^{(\min)}$  затримками, що виникли під час передавання блоків даних трафіку відповідного сервісу  $\sigma^{(\tau)} = \tau^{(\max)} - \tau^{(\min)}$ , де  $\tau^{(\min)} = \bar{\tau} - \sqrt{D[\bar{\tau}]}$ ,  $\tau^{(\max)} = \bar{\tau} + \sqrt{D[\bar{\tau}]}$ , а дис-

персія  $D(\tau) = \frac{1}{N^{(b)}} \sum_i^{N^{(b)}} (\tau_i - \bar{\tau})^2$ .

Оцінки впливу окремих параметрів транспортного з'єднання на якість наданої абонентам послуги наведено у табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Вплив параметрів транспортного з'єднання на якість надання сервісу



Параметри якості	Тип сервісу			
	Телефонний	Відео-конференції	Відео за-питом	Передавання даних
Затримка	Значний	Значний	Помірний	Незначний
Час встановлення з'єднання	Значний	Значний	Помірний	Помірний
Джитер	Значний	Значний	Значний	Незначний
Ймовірність втрати	Помірний	Помірний	Помірний	Значний
Ймовірність встановлення з'єднання	Значний	Значний	Значний	Значний
Ймовірність розриву з'єднання	Значний	Значний	Значний	Незначний

Терміни значний, помірний, незначний, застосовані для суб'єктивного оцінювання впливу окремих параметрів означають таке:

- значний – сильний вплив параметру телекомунікаційного з'єднання на якість надання сервісу. Навіть не дуже великі значення цього параметру є неприйнятними;
- помірний – середній вплив параметру телекомунікаційного з'єднання на якість надання сервісу. Невелике значення цього параметру є припустимим;
- незначний – слабкий вплив параметру телекомунікаційного з'єднання на якість надання сервісу. Велике значення цього параметру є припустимим.

Значення часу доставки та джитеру часу доставки є важливими мережними характеристиками для послуг, здійснюваних у реальному часі. Припустимі значення затримки, джитеру, ймовірності втрати пакету, ймовірності встановлення з'єднання, часу встановлення з'єднання та ймовірності розриву з'єднання, отримані у результаті досліджень Європейським дослідницьким центром у галузі телекомунікацій (RACE – Research on Advanced Communication in Europe) й визначені для основних типів мультимедійних послуг, наведено у табл. 2.3 [9, 11].

Таблиця 2.3 – Припустимі значення параметрів якості обслуговування під час передавання мультимедійного трафіку

Тип сервісу	Параметри якості обслуговування				
	$t^{cn}, c$	$P^{(rj)}$	$\tau, mc$	$P^{(rs)}$	$\sigma_{\tau}, c$
IP-телефонія	0,5...1	$10^{-3}$	25...500	$10^{-3}$	100...150
Відеоконференція	0,5...1	$10^{-3}$	30	$10^{-3}$	30...100
Цифрове відео за запитом	0,5... 1	$10^{-3}$	30	$10^{-3}$	30...100
Передавання звичайних даних	0,5... 1	$10^{-6}$	50... 1000	$10^{-6}$	—
Телевізійне мовлення	0,5...1	$10^{-6}$	1000	$10^{-6}$	—

В останній час частка мультимедійного трафіку в загальному інформаційному потоці зростає. Про це свідчить статистика структури трафіку одного з крупних Українських провайдерів інформаційних мереж [10], табл. 2.4.

Таблиця 2.4. – Розподіл пакетів за розміром у великій Ethernetмережі

Довжина пакета, байтів	64	128	256	512	1024	1528
Частка загального трафіку, %	17	14	11	22	21	15

## 2.4 Особливості кодеків аудіовізуальної інформації для мереж з мультисервісними послугами

### 2.4.1 Аналіз параметрів та характеристик аудіо кодеків

Одним з важливих чинників ефективного використання пропускної здатності IP каналу, є вибір оптимального алгоритму кодування/декодування голосової інформації – кодека.

Кодеки можуть, як кодувати потік/сигнал, так і декодувати. Кодеки часто використовуються при цифровій обробці відео і звуку. Більшість кодеків для звукових та візуальних даних використовують стиснення з втратами, щоб отримувати прийнятний розмір готового (стисненого) файлу. Існують також кодеки, що стискають без втрат (lossless codecs). Але для більшості застосувань кращі кодеки з втратами інформації, так як малопомітне погіршення якості виправдовується значним зменшенням обсягу даних. Майже єдиний виняток – ситуація, коли дані будуть піддаватися подальшій обробці: в цьому випадку повторювані втрати на кодуванні/декодуванні нададуть серйозний вплив на якість

Всі існуючі сьогодні типи голосових кодеків за принципом дії можна розділити на три групи:

Кодеки з імпульсно–кодовою модуляцією (ІКМ) і адаптивною диференціальною імпульсно–кодовою модуляцією (АДІКМ), що з'явилися в кінці 50–х років і використовуються сьогодні в системах традиційної телефонії. У більшості випадків, являють собою поєднання АЦП/ЦАП.

Кодеки з вокодерним перетворенням мовного сигналу виникли в системах мобільного зв'язку для зниження вимог до пропускної здатності радіотракта. Ця група кодеків використовує гармонійний синтез сигналу на підставі інформації про його вокальні складові (фонеми). У більшості випадків, такі кодеки реалізовані як аналогові пристрої.

Комбіновані (гібридні) кодеки поєднують в собі тех Комбіновані (гібридні) кодеки поєднують в собі технологію вокодерной перетворення/синтезу мови, але оперують уже з цифровим сигналом за допомогою спеціалізованих DSP. Кодеки цього типу містять в собі ІКМ або АДІКМ кодек і реалізований цифровим спосо-

бом вокодер.

Розглянемо основні кодеки, які використовують в шлюзах IP телефонії операторського рівня.

Кодек G.711. Рекомендація G.711, затверджена МККТТ в 1984 р, описує кодек, який використовує ІКМ перетворення аналогового сигналу з точністю 8 біт, тактовою частотою 8 кГц і найпростішої компресією амплітуди сигналу. Швидкість потоку даних на виході перетворювача складає 64 кбіт/с ( $8 \text{ біт} * 8 \text{ кГц}$ ). Для зниження шуму квантування і поліпшення перетворення сигналів з невеликою амплітудою при кодуванні використовується нелінійне квантування за рівнем згідно зі спеціальним псевдо-логарифмічним законом: А-закон для європейської системи ІКМ-30/32 або  $m$ -закон для північноамериканської системи ІКМ-24.

Кодек G.711 широко поширений в системах традиційної телефонії з комутацією каналів. Незважаючи на те, що рекомендація G.711 в стандарті H.323 є основою і первинною, в шлюзах IP телефонії даний кодек застосовується рідко через високі вимоги до смуги пропускання і затримок у каналі передачі. Використання G.711 в системах IP телефонії обґрунтовано лише в тих випадках, коли потрібно забезпечити максимальну якість кодування голосової інформації при невеликому числі одночасних розмов.

Кодек G.723.1. Рекомендація G.723.1 описує гібридні кодеки, що використовують технологію кодування мовної інформації, скорочено звану MP-MLQ (Multy-Pulse Multy Level Quantization множинне імпульсне, багаторівневе квантування). Дані кодеки можна охарактеризувати, як комбінацію АЦП/ЦАП і вокодера. Застосування вокодера дозволяє знизити швидкість передачі даних в каналі, що принципово важливо для ефективного використання радіотракта і IP каналу. Основний принцип роботи вокодера – синтез вихідного мовного сигналу за допомогою адаптивної заміни його гармонійних складових відповідним набором частотних фонем і узгодженими шумовими коефіцієнтами. Кодек G.723.1 здійснює перетворення аналогового сигналу в потік даних зі швидкістю 64 кбіт/с (ІКМ), а по-

тім за допомогою багатосмугового цифрового фільтра/вокодера виділяє частотні фонери, аналізує їх і передає по IP каналу інформацію тільки про поточний стан фонери в мовному сигналі. Даний алгоритм перетворення дозволяє знизити швидкість кодованої інформації до 5,3 та 6,3 кбіт/с без видимого погіршення якості мови. Кодек має дві швидкості і два варіанти кодування: 6,3 кбіт/с з алгоритмом MP-MLQ і 5,3 кбіт/с з алгоритмом CELP. Кодек G.723.1 широко застосовується в голосових шлюзах та інших пристроях IP телефонії.

Кодек G.728. Кодек використовує оригінальну технологію з малою затримкою LD-CELP (low delay code excited linear prediction) і гарантує оцінки MOS, аналогічні АДІКМ G.726 при швидкості передачі 16 кбіт/с. Даний кодек спеціально розроблявся як більш досконала заміна АДІКМ для обладнання ущільнення телефонних каналів, при цьому було необхідно забезпечити дуже малу величину затримки (менше 5 мс), щоб виключити необхідність застосування ехокомпенсаторів.

Сімейство включає кодеки G.729, включає кодекі G.729 Annex A, G.729 Annex B (містить VAD і генератор комфортного шуму). Кодек G.729 скорочено називають CS-ACELP (Conjugate Structure-Algebraic Code Excited Linear Prediction) – сполучена структура з керованим алгебраїчним та кодом лінійним передбаченням. Процес перетворення використовує DSP 21,5 MIPS і вносить затримку 15 мс. Швидкість кодованого голосового сигналу становить 8 кбіт/с. У пристроях VoIP даний кодек займає лідируюче положення, забезпечуючи найкращу якість кодування голосової інформації при досить високій компресії. Основні характеристики розглянутих кодеків наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристики аудіо кодеків

Кодек	Метод компресії	Швидкість, кбіт/с	Складність реалізації	Якість	Затримка, мс	Тривал. кадру, мс	Оцінка MOS

G.711	PCM	64	Низька	дуже добра	дуже низька (0,125 мс)	0,125	4,1
G.729	CS–ACELP	8	Помірна 25 MIPS	добра	середня (15 мс)	10	3,92
G.726	ADPCM	32/24/16	Низька 8 MIPS	добра (32), погана (16)	дуже низька (0,125 мс)	0,125	3,85 (32к)
G.723.1	MP–MLQ	5,3/6,4	Помірна 16 MIPS	середня / добра	висока (37,5 мс)	30	3,7/3,9
G.728	LD–CELP	16	Дуже висока 40 MIPS	добра	дуже низька (3...5 )	4	3,61

#### 2.4.2 Аналіз параметрів та характеристик відеокодеків

Цифровий потік, включаючи відео, аудіо та меню, досягає 9,8 – 10 Мбіт/с., у якому відео складає основну його частину (біля 4 Мбіт/с.). Виникає необхідність узгодження цифрових потоків з пропускнуою здатністю каналів передачі. Це призводить до необхідності використання ефективних алгоритмів компресії цифрових потоків відео. На сьогодні відомими специфікаціями алгоритмів є MPEG-1, MPEG-2 та MPEG-4.

СТ ISO-1172 (MPEG-1), прийнятий в 1992 р., обмежується четверттю телевізійного кадру (352x288), низькою швидкістю цифрового потоку (до 1,5 Мбіт/с.) і тому забезпечує невисоку якість зображення при передачі. Однак запропоновані у ньому алгоритми компресії, правила опису та формування потоку даних більш потужні та універсальні, ніж використовує даний СТ. В 1995 році прийнято

СТ ISO-13818 (MPEG-2) для повноцінного телевізійного кадру (720x526), який містить кілька рівнів та профілів[8]. СТ передбачає часову компенсацію руху

між суміжними кадрами та наявність: опорних зображень I (Intra); зображень з передбаченням вперед P (Predictive); зображень з передбаченням як вперед так і назад B (Bidirectional). Уся часова послідовність зображень розбивається на групи GOP (Group Of Pictures). Кожна з цих груп починається з опорного зображення типу Intra, та з певною періодичністю містить зображення з передбаченням вперед P (Predictive). Такі групи мають вигляд дробу  $M/N$ , де  $M$ -загальне число зображень у групі між опорними зображеннями, а  $N$ -інтервал між Predictive зображеннями. Основний алгоритм MPEG-2 використовує для компресії відео структуру GOP15/3: IBVPBVPBVPBVPBV. У такій групі кожне зображення типу Bidirectional відновлюються по оточуючим його Predictive зображенням. У свою чергу кожне зображення типу Predictive відновлюється по попередньому P- зображенню або по попередньому I зображенню. I- зображення відновлюються незалежно від інших. Для формування низьких потоків при кодуванні відео служать профілі

СТ MPEG-4 Visual та H.264 (який також називають AVC - Advanced Video Coding). Кожний з двох СТ регламентує роботу декодера, та залишає свободу розробникам у створенні кодера – СТ визначають лише вихідні дані, які мають бути на виході кодера, але самого кодера не описують. Метод декодування описано у кожному стандарті. MPEG-4 Visual та H.264 мають спільні та, водночас, суттєво різні рекомендації. Обидва призначені для компресії відеоінформації, але СТ MPEG-4 Visual має багатоцільове використання, а СТ H.264 націлено на ефективність та надійність алгоритмів компресії.[9]

Стандарт MPEG-4 Visual СТ MPEG-4 Visual (Part 2 ISO/IEC 14496, «кодування аудіовізуальних об'єктів»)[9,10] описує широкий клас функцій для кодування певних додатків та представлення візуальної інформації. Тому, MPEG-4 Visual забезпечує високу пристосованість своїх технічних інструментів та ресурсів кодування і дає можливість працювати з різними видами відеоданих. Розв'язання великої кількості задач MPEG-4 Visual забезпечує шляхом набору інструментів

кодування, організованих у профілі. СТ дає змогу обробляти рухомі зображення, відео об'єкти, двомірні та тримірні сіткові об'єкти, анімовані обличчя та фігури людей, статичні текстури. Кодек для MPEG-4: у основі MPEG-4 Visual лежить простий механізм відеокодування, у якому використовуються: розбиття зображення на окремі блоки, що містять 16x16 пікселів; компенсація руху блоку кодується за допомогою різниці між вектором та його прогнозом; дискретне косинусперетворення DCT; квантуванням коефіцієнтів, отриманих при DCT; ентропійним кодуванням квантованих коефіцієнтів DCT. Розробка алгоритмів та методів оцінки руху (вибору «найкращого» вектора руху) СТ не розглядається, а повністю покладається на розробників кодерів. Стандарт H.264/AVC СТ ITU-T H.264/MPEG-4 Part 10 AVC (скорочено - H.264/AVC) є новою перспективною технологією кодування та компресії аудіо-візуальної інформації. Ефективність компресії СТ H.264/AVC вища, ніж у СТ MPEG-2 при однаковому візуальному сприйнятті.

СТ H.264/AVC розроблено незалежним від транспортного рівня систем передачі, що використовуються. Тому доставка інформації може здійснюватись по будь-яким системам передачі та мовлення, включаючи: системи з IP-протоколами (у тому числі для потокової доставки), транспортні потоки систем мовлення у СТ MPEG-2, а також специфічні формати файлів H.264/AVC для їх збереження та обробки на серверах. Даний СТ має більш вузькі межі застосування. Основна увага в H.264 сконцентрована на ефективності компресії зображення. Цей СТ створений для більш вузького кола задач, з метою істотного збільшення ефективності алгоритмів кодування та підвищення завадостійкості при передачі відео. Основними ознаками СТ є: ефективність компресії (значне покращення компресії у порівнянні з усіма попередніми СТ); ефективність передачі даних (з великою кількістю вбудованих деталей, які спрямовані на підтримку надійної передачі по мережам); сфокусованість на популярних додатках відеокомпресії. СТ H.264 створений для підтримки потокового широкомовного відео високої якості та для зберігання відеоданих. Кодек для H.264 передбачає використання як просторового так і часо-



вого прогнозування (з оцінкою руху), включає 2-D перетворення, квантування, компресію, сканування (переорганізація) та статистичне кодування.

На сьогоднішній день MPEG-4 є основним стандартом стиснення мультимедіа контенту, і хоча DVD списувати з рахунків ще рано, практично всі сучасні фото та відеокамери знімають в HD-якості. Так що для збереження відео з таких пристроїв на комп'ютер, в будь-якому випадку доведеться орієнтуватися на кодеки сімейства MPEG-4. Характеристики стандартів відео кодеків представлені в табл. 2.6

Таблиця 2.6 – Характеристики стандартів відео кодеків

Стандарти	Ширина відео потоку	Глибина кольору, біт	Частота кадрів, за с	Якість зображення	Роздільна здатність екрану
H.261	64 кбіт/с	8 (256 кольорів)	25 30	Низька	352×288 176×144
H.263	64/128 кбіт/с	8 (28 кольорів)	25 30	Середня	352×288 176×144
H.264	265 кбіт/с	16 (216 кольорів)	25	Добра	640×480
MPEG-1	до 1,5 Мбіт/с	16 (216 кольорів)	25 30	Добра	352×288 352×240
MPEG-2	9,8 Мбіт/с	24 (224 кольорів)	25 30	Добра	720×576 720×840
MPEG-4	9,8 Мбіт/с	24 (224 кольорів)	25 30	Добра	1280×720 1920×1080

## Висновок

Для більшості застосувань кращі властивості мають кодеки з втратами інформації,

оскільки малопомітне погіршення якості обумовлює значне зменшення обсягу даних. Кодеки які доцільно використовувати це комбіновані (гібридні) кодеки, які поєднують технологію вокодерной перетворення/синтезу мови, але оперують уже з цифровим сигналом за допомогою спеціалізованих DSP. Кодеки цього типу містять ІКМ або АДІКМ кодек і реалізований цифровим способом вокодер. Кодек G.723.1. Рекомендація G.723.1 описує гібридні кодеки, що використовують технологію кодування мовної інформації, скорочено звану MP–MLQ (Multy–Pulse Multy Level Quantization) множинне імпульсне, багаторівневе квантування. Дані кодеки можна охарактеризувати, як комбінацію АЦП/ЦАП і вокодера. Застосування вокодера дозволяє знизити швидкість передачі даних в каналі, що при

Стандарту MPEG-4 притаманні переваги: багатофункціональність додатків; розроблені раніше програмні продукти на MPEG-4 Visual для мобільних систем вже набули широкого поширення; безперервне вдосконалення профілів, деякі з яких оптимізовані для потоків 64 Кбіт/с; недоліки: недостатня ефективність алгоритмів компресії, а звідси і низька якість передачі відео для деяких прикладних задач, низька завадозахищеність, при високих швидкостях передачі (види компресії типу MPEG4 залишаються лише там, де вимоги до частоти кадрів не перевищують кадр/с).

Стандарту H.264 притаманні принципово важливо для ефективного використання. переваги: висока ефективності компресії; висока завадозахищеність при передачі по мережі; висока якість зображення при частоті кадрів  $\sim 3$  кадр/с; можливості щодо зменшення розміру відеофайлів без помітного погіршення якості зображення; вища продуктивність та можливість використання низьких бітових швидкостей; недоліки: вузька спрямованість прикладних задач, жорсткі вимоги до апаратних ресурсів, складність розрахунків, необхідність вдосконалення камер, та високопродуктивних станцій моніторингу.

В нових розробках при виборі обладнання рекомендується надавати перевагу продуктам, що підтримують обидва стандарти для забезпечення гнучкості майбутніх систем.

### 3 ТЕХНОЛОГІЯ Wi-Fi (стандарт IEEE802.11)

#### 3.1 Загальна характеристика

Wi-Fi (WirelessFidelity) – торгова марка Wi-Fi Alliance та загальновживана назва для стандарту IEEE 802.11 передавання цифрових потоків даних по радіоканалах[11]. Найпоширенішою специфікацією стандарту є технологія IEEE 802.11n.

Зазвичай схема Wi-Fi мережі містить не менш однієї точки доступу та може легко масштабуватись.

Існує два основних типи з'єднання, Ad-Нос, рис. 3.1, і Infrastructure, рис. 3.2.

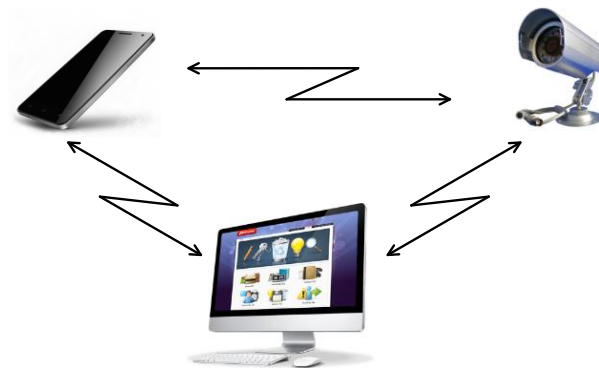


Рисунок 3.1 – Структурна схема мережі Wi-Fi в режимі Ad-Нос



Рисунок 3.2– Структурна схема мережі Wi-Fi в режимі Infrastructure

Ad-Hoc використовують для простого з'єднання комп'ютерів між собою за методом "точка-точка" і для організації мережі потрібно мінімум обладнання. Мережа ad-hoc володіє такими якостями як швидкість розгортання, гнучкість структури, мобільність і живучість. Однак реальна швидкість обміну даних становить приблизно  $11/N$  Мбіт/с ( $N$  – число пристроїв в мережі) [12] і при збільшенні відстані між пристроями швидкість передавання стрімко падає (максимальна дальність – 100метрів).

Для передавання відеоконтенту в реальному часі може використовуватися режим Ad-Hoc тільки за умови підключення максимум 3 користувачів, розташованих в радіусі 100 м.

Режим Infrastructure вимагає наявності точки доступу, яка може використовуватись як комутатор і як маршрутизатор для з'єднання мереж між собою з розподілом інтернет-доступу між користувачами.

Точка доступу має порт Ethernet, через який зона обслуговування підключається до проводової або змішаної мережі – до мережної інфраструктури. Швидкість обміну даних становить до 54 Мбіт/с[11]. Але сигнал Wi-Fi через слабку завадостійкість значно знижується, проходячи через фізичні перешкоди. Варіантом вирішення такої проблеми може бути збільшення потужності точки доступу або використання потужних вузькоспрямованих антен.

З появою нових стандартів Wi-Fi, а також у зв'язку із загальним поширенням гаджетів, які функціонують в неліцензованому діапазоні частот, користувачі все частіше звертають увагу на те, що якість Wi-Fi мереж погіршується навіть за умови появи нових удосконалених специфікацій цього стандарту[12-14]. Згідно зі статистикою, в усьому світі сьогодні використовують 6,4 мільярда безпроводових пристроїв. До 2020 року очікують, що кількість безпроводових пристроїв становитиме в середньому 2,8 на одну людину. Але причина для створення так званих "віртуальних заторів" у Wi-Fi мережах полягає не тільки в збільшенні кількості пристроїв, самі мережі можуть створювати проблемні ситуації в мережі.

Окрім зазначеного вище треба брати до уваги іще кілька важливих чинників. По-перше, в кожному багатоповерховому житловому будинку або офісній споруді вже встановлено велику кількість безпроводових маршрутизаторів. Подруге, попит на швидкісне передавання даних неухильно зростає, а це означає, що потрібно збільшувати частотні смуги радіоканалів, і як наслідок це веде до того, що каналів буде менше, але з досить широкими смугами. І третій, важливий чинник – стільникові оператори "скидають" трафік з мобільних мереж у Wi-Fi мережі (Wi-Fi Offloading).

Все це призводить до погіршення електромагнітної обстановки і викликає складнощі щодо можливості забезпечити високу якість надання мультимедійних послуг.

### **3.1.1 Аналіз функціонування безпроводових мереж у неліцензованих діапазонах**

Для використання технології Wi-Fi користувачі повинні дотримуватись певних технічних вимог, обумовлених частотними регуляторами, наприклад, у вигляді обмеження потужності. Домашні Wi-Fi-мережі функціонують в діапазонах 2,4 і 5 ГГц. З фізичних причин у діапазоні 2,4 ГГц мережі функціонують краще: радіосигнали цього діапазону краще поширюються крізь стіни, і сигнали поширюються далі порівняно з сигналами 5-гігагерцового діапазону (за однакового рівня потужності)[15].

У різних країнах дозволено використовувати різну кількість каналів. Наприклад, в Європі, як і в Україні, використовують 13 каналів, а в Японії – 14, що дозволяє їм, до речі, використовувати чотири канали, що не перекриваються. Інформацію щодо кількості дозволених каналів у різних регіонах приведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Частотна смуга не ліцензованого діапазону 2,4 ГГц

Країна	Діапазон частот	Число каналів
Росія	2.412- 2.472ГГц	13
Європа(за винятком Франції і Іспанії)	2.412- 2.472ГГц	13
Франція і Іспанія	2.457- 2.472ГГц	4
США і Канада	2.412- 2.462ГГц	11
Японія	2.412- 2.484ГГц	14
Корея	2.412- 2.472ГГц	13
Чилі	2.412- 2.472ГГц	13
Південна –Африка	2.412- 2.472ГГц	13
Південно-Східна Азія(включаючи Сингапур Малайзію Таїланда)	2.412- 2.472ГГц	13

У не ліцензованому діапазоні 2,4 ГГц, кожен радіоканал може бути завширшки 22 мегагерци, тому тільки деякі з усіх каналів можна використовувати одночасно так, щоб вони не заважали один одному. Як правило, це 1, 6 і 11 канали:



Рисунок 3.3 – Схема розподілу каналів у діапазоні 2,4 ГГц[16]

Зсув частоти радіо смуги кожного наступного каналу становить 5 МГц. То-

му, якщо ви бачите в мережі більше трьох маршрутизаторів з частотою 2,4 ГГц (а швидше за все це так, якщо ви не живете в сільській місцевості), то вони однозначно створюють один одному завади. Навіть якщо ви не налаштовуєте роботу свого обладнання цілеспрямовано на роботу в каналах, що не перекриваються, то більша частина обладнання саме здійснює розподіл (адаптується) спектру так, щоб не заважати одне одному. Приклад такого розподілу пристроїв у межах спектру наведено нижче (скрін з мобільної версії програми Wi-Fi Analyzer):

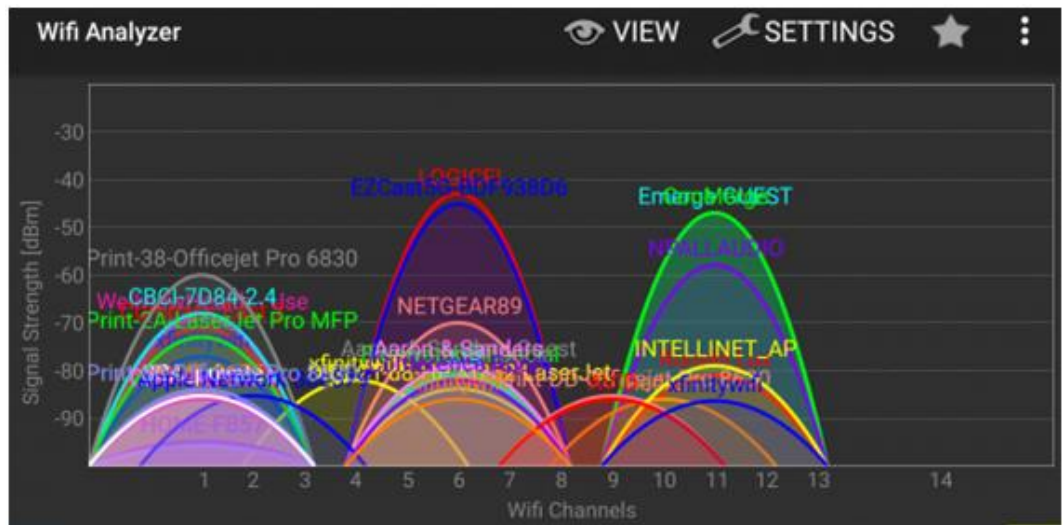


Рисунок 3.4 – Приклад спільного використання діапазону 2,4ГГц локальними мережами[16]

Якщо користувач самостійно налаштовує роботу пристрою на інші доступні канали (наприклад, 4 або 9-й, як наведено на рис. 3.2), тоді є велика ймовірність ще більше погіршити ситуацію, тому що в такому разі його обладнання буде отримувати завади від обладнання сусідніх каналів.

Сигнали в смузі 5 ГГц мають меншу дальність поширення всередині приміщень, але ця смуга (діапазон від 5,80 до 5,825 ГГц) має 24 канали, що не перекриваються завширшки 20 МГц в США. На п'ять менше в Європі та Японії. Це досить велика кількість додаткових каналів для безпроводового зв'язку, яка могла б вирішити проблему їх зайнятості обладнанням. Але приблизно половину цих каналів



виділено для первинного використання метеорологічними і військовими радарми. Тому більшість користувацьких маршрутизаторів не використовують ці смуги.

Таким чином, у будь-якому діапазоні ми маємо певну кількість каналів, які не заважають один одному. Оскільки все більше і більше безпроводових пристроїв отримують доступ до мережі, взаємні завади є нормою. У мережі Wi-Fi, коли виникає колізія під час передавання даних, всі пристрої затихають, а потім намагаються повторити передавання знову через деякий час. Час, необхідний для повторного передавання збільшується за рахунок збільшеного інтервалу очікування. Зі збільшенням кількості колізій, час очікування збільшується, і Wi-Fi стає все більш повільним і менш надійним.

У багатьох регіонах (особливо в мегаполісах) надмірна навантаженість доступних каналів досягла такого рівня, що вона в значній мірі зробила смугу 2,4 ГГц непридатною для передавання даних з високою швидкістю. Зарубіжний досвід такий, що деякі провайдери широкосмугових послуг (наприклад, AT & T, British Telecom, Comcast тощо) більше не використовують 2,4 ГГц для передавання відео або голосу. Майже всі виробники смартфонів, разом з Apple, більше не рекомендують використовувати свої смартфони на частоті 2,4 ГГц. Останній і найшвидший варіант Wi-Fi, IEEE 802.11ac, забезпечує роботу тільки в діапазоні 5 ГГц, хоча більшість обладнання Wi-Fi підтримує обидві смуги (але в основному для підтримки старих мобільних пристроїв).

### **3.1.2 Зміни умов функціонування мереж у діапазоні 5 ГГц**

Перенесення Wi-Fi-комунікацій з частот 2,4 ГГц у діапазон 5 ГГц на якийсь час вирішив проблему з надмірним навантаженням каналів, але від цього постраждав радіус дії мереж, тому багато споживачів звернулися до простих рішень для збільшення зони охоплення (наприклад, до різних підсилювачів і ретрансляторів). Популярні стали і mesh-мережі, які стали використовувати для отримання рівно-

мірного Wi-Fi покриття у всіх частинах будівлі.

Ретранслятори в цьому випадку розташовують в межі роботи маршрутизатора. Вони прослуховують весь діапазон, а потім перевипромінюють отримані сигнали на більш високому рівні потужності, іноді на іншому каналі. Але це призвело до того, що тепер з'явилося ще більше сигналів Wi-Fi, що перекриваються в одному частотному діапазоні.

З появою загальнодоступних "хот-спотів" (концепцію яких вперше розробив у 2005 році постачальник Wi-Fi в Іспанії Fon Wireless) ситуація дещо погіршилася, тому що з того часу і вони стали все більш поширеними в усьому світі. Зарубіжні Інтернет-провайдери (наприклад, AT & T, Comcast і Verizon в США) швидко розгортають мережі («споти»), доступні будь-якому абоненту.

Ситуація ускладнюється ще й тим, що мобільні оператори зв'язку вичерпали велику частину свого ексклюзивного спектра і планують протягом наступних трьох років переносити передавання мобільних даних на 60% в неліцензійний спектр, який використовують для Wi-Fi мереж. Технологія для цього рішення називається LTE-Unlicensed (LTE-U). Її використовують 4G LTE-базові станції для відправлення та приймання даних через ті ж частотні смуги 5 ГГц діапазону, що і Wi-Fi. Деякі організації, такі як Cable Television Laboratories, Google і Microsoft, відзначають, що LTE-U буде в цілому погіршувати роботу Wi-Fi мереж. У США Verizon і T-Mobile почали пробні розгортання LTE-U, щоб визначити його вплив на Wi-Fi. Оператори в Європі і Азії також планують подібні випробування

### **3.1.3 Особливості використання частотних ресурсів після впровадження специфікації IEEE 802.11ac**

IEEE 802.11ac задовольняє зростаючі потреби користувачів в швидкості, що дозволяє передавати відео високої якості. Ця специфікація Wi-Fi забезпечує гігабітні швидкості з'єднання[17,23]. Але щоб можна було передавати дані з вказаною швидкістю, в 802.11ac передбачено об'єднання каналів. У разі реалізації найбільш високопродуктивної конфігурації IEEE 802.11ac Wave 3 передбачено об'єднувати весь доступний спектр Wi-Fi у два канали завширшки по 160 МГц. Це злиття означає, що тільки дві пари пристроїв можуть взаємодіяти із застосуванням найширшого каналу одночасно без взаємних завад. Тому, якщо один з ваших сусідів використовує один з цих двох каналів для перегляду фільмів, а інший сусід використовує інший канал, вам нічого не залишиться як скористатись уже зайнятими частотами та створювати завади. В результаті ситуації, що склалася, всі ті додаткові переваги, які надавав діапазон 5 ГГц в порівнянні з 2,4 ГГц – зникли.

У 2013 році британський національне телекомунікаційне агентство Ofcom опублікувало дослідження, в якому прогнозувалося, що до 2020 року мережі Wi-Fi і мобільні інтернет-мережі можуть стати критично перевантаженими.

Таїмо чином, розробники і виробники маршрутизаторів, які працювали над поліпшенням швидкостей передавання безпроводових даних протягом останніх 15 років, добре вирішили питання забезпечення високих швидкостей, але ігнорували ці питання. Зокрема, вони не звернули увагу на той факт, що поширення 802.11ac, здатне пропонувати більш широкі, але менші канали, значно погіршить проблему їх перевантаженості.

### **3.1.4 Особливості застосування динамічного вибору частоти для збільшення ефективності використання діапазону 5 ГГц**

На тепер крайні канали спектра 5 ГГц виробники безпроводових маршрутизаторів Wi-Fi не використовують у зв'язку з тим, що ці частоти відведено для радарів і військових цілей. Відкриття цих частот для споживачів може мати величезне значення і тимчасово вирішить проблему надмірного навантаження каналів.

Цей додатковий спектр був доступний для Wi-Fi-трафіку в 2007 році. Регулятори зрозуміли, що радари та інші системи, для яких використали цей діапазон, розташовані на обмеженій території, а багато з них не функціонують в режимі 24/7. Таким чином, індустрія Wi-Fi могла б перевести Wi-Fi зв'язок на ці частоти. Зараз пристрої, що використовують ці канали, реалізують механізм під назвою Dynamic Frequency Selection (DFS – динамічний вибір частоти), щоб не заважати радіолокаційним сигналам.

Згідно з DFS пристрій функціонує приблизно у такий спосіб: коли він визначає наявність радіолокаційного сигналу в одному з цих захищених каналів, він швидко переносить весь трафік Wi-Fi на іншу смугу. Маршрутизатор з DFS повинен прослуховувати весь спектр не менше 60 секунд, перш ніж оголошувати канал вільним для використання, а потім продовжити прослуховування, поки канал використовують для передавання трафіка Wi-Fi. Якщо механізм виявляє радіолокаційний імпульс, передавач Wi-Fi повинен очистити канал і залишити його на півгодини. Діапазон, в якому буде працювати алгоритм DFS показаний на рис. 3.6

Переважна більшість мобільних пристроїв, що з'явилися за останні три або чотири роки, мають радіопередавальні модулі, які можуть функціонувати в цих смугах частот, а програмне забезпечення для відповіді на інструкції від так званого "майстра DFS" дописати не складе особливих труднощів. Так що, впровадження DFS не така велика проблема.

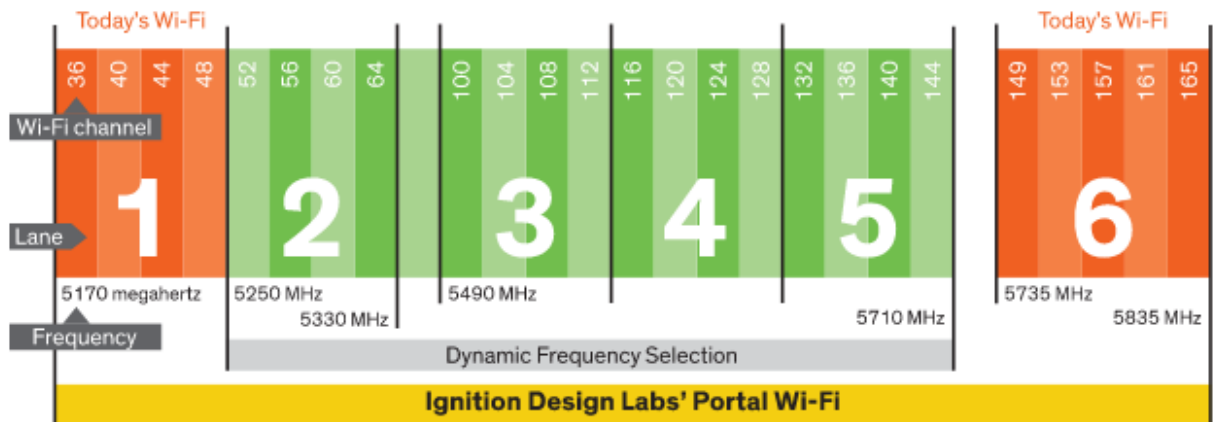


Рисунок 3.6 – Схема динамічного вибору каналів[16]

Але реалізація DFS-майстра в маршрутизаторі не є тривіальною для реалізації. Радарні імпульси досить важко виявити, тому що вони досить швидкі (кожен імпульс триває близько половини мікросекунди) і може бути присутнім за дуже малих рівнів потужності (від -62 до -64 дБмВт). На тепер технологія DFS-майстер доступна в дорогих маршрутизаторах, які зазвичай встановлюють тільки великі компанії. Його переносять на деякі дешевші маршрутизатори для споживачів в Європі і Японії. Але і дорогі бізнес-версії, і дешевші споживчі версії не такі вже й розумні: коли вони виявляють радар, вони швидко переносять трафік назад на встановлений за початковим налаштуванням канал в не DFS-частину діапазону 5 ГГц.

Не так давно презентовано користувацький маршрутизатор з DFS з назвою Portal, рис.4, який містить повнофункціональний радіосканером і центральний процесор, призначений для виявлення радарів і управління каналами додатково до стандартного обладнання маршрутизатора:



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд маршрутизатора Portal [16]

Згідно з даними виробника Ignition Design Labs, маршрутизатор Portal забезпечує доступ до радіохвиль на 300% більший, ніж будь-який інший маршрутизатор (відносна ширина доступної радіочастотної смуги). Це робить його ідеальним рішенням для переповнених і зашумлених середовищ, які страждають від надмірного навантаження через велику кількість маршрутизаторів, що конкурують за доступний діапазон.

Portal має два окремих радіотракта, один з яких призначено для виявлення радіолокаційних сигналів (DFS), а другий – для передавання даних у Wi-Fi-середовищі. Коли в каналі виявлено радіолокаційний імпульс, система переходить у загальнодоступну частину спектра без переривання процесу передавання даних.

Завдяки двом окремим радіотрактам, маршрутизатор може автоматично відновити роботу в попередньому каналі і перевірити ще раз цей канал після 30-хвилинного обов'язкового інтервалу очікування без переривання поточної робочої сесії.

Також Portal має окремий CPU для роботи з DFS, що дозволяє зменшити ймовірність помилкового виявлення радіолокаційних сигналів, і скорочує час, протягом якого Wi-Fi-трафік повинен перейти на інший канал.

До останнього часу в безпроводових мережах працювали в основному над збільшенням швидкості передавання даних, і тільки недавно почали замислюватись про доступний спектр, а точніше про "інтелектуальний" вибір каналів. Можливо, в майбутньому запропонована технологія DFS буде збирати інформацію не тільки про радари, але і про будь-які види завад, а також відправляти цю інформацію на мережний сервер. Фахівці вже називають це мережною оптимізацією.

Із застосуванням такої системи можна визначити найкращі канали для використання Wi-Fi пристроями в різних місцях. Припустимо, ми знаємо, що о 8 годині вечора канал 100 стає дуже перевантаженим, потім ми можемо перенести трафік одного користувача на канал 132, а трафік сусіднього на 154-й. Така координація може надати великий позитивний вплив на якість Wi-Fi-комунікацій. Вкрай важливо отримати таку всеосяжну інтелектуальну систему для управління ресурсами Wi-Fi в світі до того, як Wi-Fi стане настільки ненадійним, що стане непридатним для використання.

У більш довгостроковій перспективі будуть розроблені технології для перенесення трафіка на інші типи мереж зв'язку, які несумісні з поточними специфікаціями Wi-Fi. Зараз розглядають кілька частот для можливого перерозподілу спектра а саме: 5.9, 4.9 та 3.5 ГГц. Але цей процес перерозподілу спектра може відбуватись протягом тривалого часу (роками). І всі ці діапазони зараз використовують для промислових і військових цілей, тому, якщо буде схвалено використання цих діапазонів, для них теж треба буде використовувати технологію DFS.

## **3.2 Особливості застосування специфікації IEEE 802.11e для передавання мультимедійної інформації**

### **3.2.1 Аналіз механізмів удосконалення канального рівня для забезпечення якості надання інформаційних послуг**

У цьому підрозділі проаналізовано особливості організації канального рівня за специфікацією 802.11e для забезпечення якості надання мультимедійних послуг (QoS)[20,21]. Для організації взаємодії станцій у безпроводовій мережі специфікація IEEE 802.11e визначає єдину функцію координації, названу гібридною функцією координації (Hybrid Coordination Function, HCF). Функція HCF поєднує функції режимів DCF і PCF з деяким спеціальним механізмом забезпечення якості передавання кадрів даних. HCF забезпечує два механізми доступу до каналу:

- а) конкурентний доступ до каналу, визначений як удосконалений розподілений доступ до каналу;
- б) контрольований доступ, визначений як доступ під управлінням гібридної функції координації (HCF).

### **3.2.2 Принципи організації удосконаленого розподіленого доступу до каналу за специфікацією IEEE 802.11e**

Режим удосконаленого розподіленого доступу (EDCA) призначений для забезпечення розподіленого доступу до каналу з різними можливостями щодо передавання кадрів, відповідно до восьми різних пріоритетів користувача. Кожен пакет даних надходить на канальний рівень безпроводової мережі з певним значенням пріоритету користувача. Для забезпечення відповідної якості передавання у заголовку кадру 802.11e встановлюється певне значення пріоритету. На рисунок 3.7 наведено діаграму розподілу часових інтервалів під час доступу до каналу за специфікацією 802.11e. Станції можуть здійснювати чотири функції доступу, а кожна



функція доступу до каналу це – покращений варіант DCF відповідно з категорією доступу, яка надається кожному кадру для визначення правила його передавання через безпроводовий радіоканал.

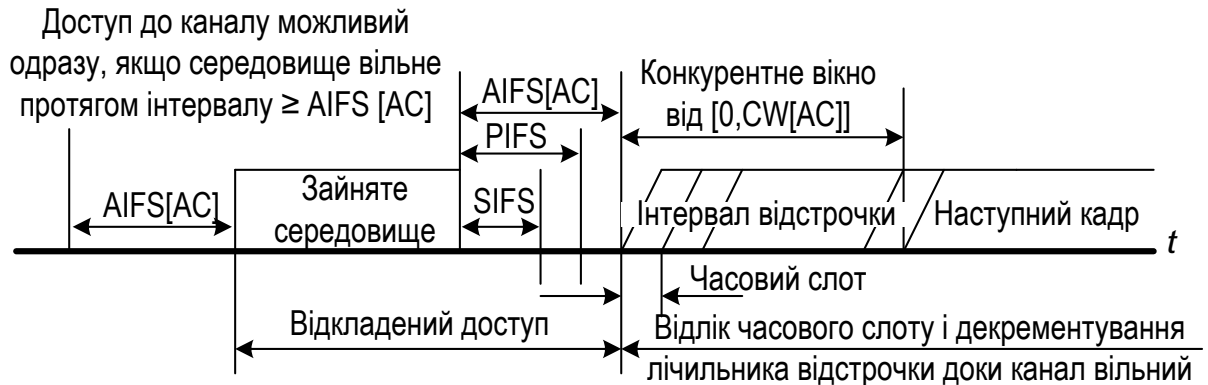


Рисунок 3.8 – Діаграма розподілу часових інтервалів під час доступу до каналу за специфікацією 802.11e

Коли інформаційний пакет зі своїм пріоритетом надходить з більш високого рівня на каналний рівень, тоді кадру, що передає цей пакет надається категорія доступу (access category, AC) відповідно з табл. 3.1.

Назви категорій походять відповідно від: BK – background, BE – besteffort, VI – video, VO – voice. Відзначимо, що пріоритет з номером 0 знаходиться після номерів 1,2 перед номером 3, тобто, він реально не є найнижчим. Це пояснюється тим, що надання даного пріоритету визначається специфікацією стандарту 802.1d для з'єднання локальних мереж на каналному рівні за допомогою мостів ;

У специфікації IEEE 802.11e передбачено використовувати на каналному рівні замість традиційних для режиму DCF постійних параметрів  $DIFS$ ,  $CW_{min}$  та  $CW_{max}$ , змінні параметри  $AIFS[AC]$  ( $AIFS$ : Arbitration Interframe Space),  $CW_{min}[AC]$  і  $CW_{max}[AC]$ , значення яких залежить від наданої пакету даних категорії доступу AC.

Таблиця. 3.2 – Таблиця відповідності пріоритетів інформаційних пакетів та категорій доступу

Рівень Пріоритету	Пріоритет корис- тувача (UP)	Категорія досту- пу до каналу	Назва Категорії
Найнижчий	1	AC_BK	Низькопріоритетний
	2	AC_BK	Низькопріоритетний
	0	AC_BE	найбільша продуктивність
	3	AC_BE	найбільша продуктивність
	4	AC_VI	Відео
	5	AC_VI	Відео
	6	AC_VO	Голос
Найвищий	7	AC_VO	Голос

Тривалість інтервалу  $AIFS[AC]$  визначається як

$$AIFS[AC] = SIFS + AIFSN[AC] \cdot ST, \quad (3.1)$$

де  $AIFSN[AC]$  – цілочисельний змінний параметр, що може набувати значень більше 1;  $ST$  – тривалість часового слоту.

Відзначимо концептуальні відмінності режимів EDCA та DCF. Одна із відмінностей полягає у способі відліку відстрочки для станції, що здійснила передавання кадру даних. У режимі EDCA перший відлік (зменшення поточного значення лічильника відстрочки) відбувається в кінці інтервалу  $AIFS[AC]$  (в останньому часовому слоті). Іншою відмінністю є інший алгоритм початку передавання кадру даних[18]. За специфікацією EDCA в одному часовому слоті не може відбуватись дві дії, тобто в одному вільному часовому слоті (idle slot interval) може відбуватись або відлік відстрочки, або передавання кадру, але не обидві ці дії. Зазначимо, що відповідно до специфікації DCF, перший відлік відбувається в кінці першого слота після інтервалу DIFS, і коли лічильник набуває значення 0 внаслідок відліку відстрочки, станція передає кадр одразу, у той же момент. Ще однією відмінністю

є наявність режиму TxOP (TransmitOpportunity) – гарантованого передавання кількох кадрів через канал.

На рис. 3.7 схематично зображено чотири різновиди функції розподіленого доступу до каналу 802.11e, де кожна функція є поліпшеним варіантом функції DCF. Кожна функція доступу до каналу формує свій власний проміжок AIFS і підтримує свій власний лічильник відстрочки. Відповідно, ці чотири функції доступу до каналу борються за середовище паралельно і незалежно. На рис 3.8 крім зазначених функцій схематично наведено, також, механізм упорядкування віртуальних колізій.[18]Згідно з 802.11e у мережі, в разі передавання мультимедійної інформації у певних станцій буде присутня деяка множина кадрів, які будуть передаватись під управлінням різних зазначених реалізацій функції доступу. Для зручності, розглянемо процес доступу оперуючи функціями як учасниками процесу.

Функція доступу до каналу, що завершить відстрочку раніше за інші, передає свій кадр через канал, а решта призупиняє процес відстрочки, доки канал не стане знову вільним. Однак, якщо більше ніж одна функція доступу до каналу завершать відстрочку в один і той самий час, відбудеться колізія на віртуальній основі. Тобто, завдяки віртуальному механізму упорядкування колізій буде обрано кадр з найвищим пріоритетом і здійснено його передавання, а інші змінять значення лічильника відстрочки із збільшенням значення  $CW$ .

Для категорій доступу з меншими значеннями параметрів  $AIFS[AC]$ ,  $CW_{min}[AC]$  та  $CW_{max}[AC]$  відстрочка доступу коротше і, отже, більша пропускна здатність для кадрів даного потоку. У разі організації режиму з інфраструктурою, ці параметри режиму EDCA могли б бути визначені та оголошені точкою доступу через службові кадри оголошень (beacon).

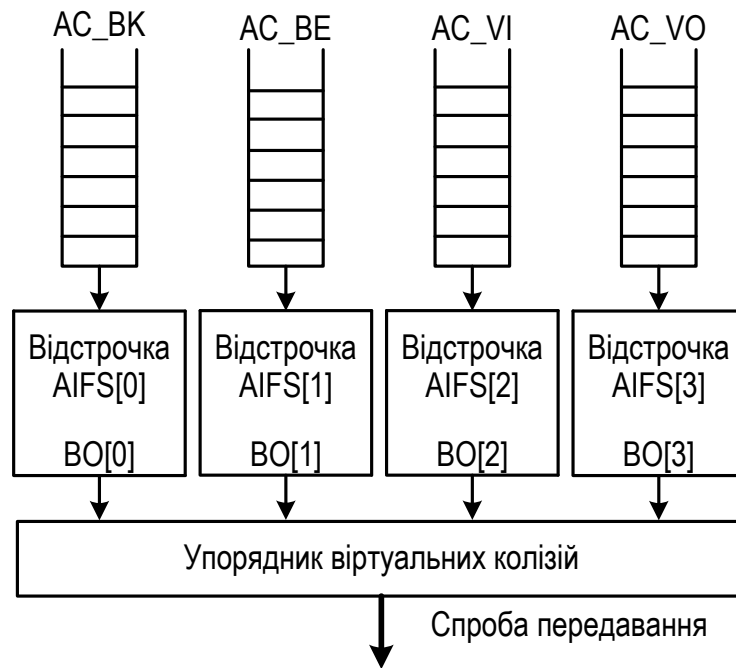


Рисунок 3.7. Схема реалізації функції розподіленого доступу до каналу в режимі EDCA

Однак, у режимі IBSS не існує точок доступу, і, значить, у IBSS можна використати тільки попередньо задані параметри. Числові значення цих параметрів наведено в табл. 3.3 .

Таблиця 3.3 Рекомендовані параметри режиму EDCA за специфікацією 802.11e

Режим	$CW_{min}[AC]$	$CW_{max}[AC]$	$AIFSN$	Граничні параметри TxOP		
				DS-CCK, мс	OFDM, мс	Інші тех- нології
AC_BK	$aCW_{min}$	$aCW_{max}$	7	0	0	0
AC_BE	$aCW_{min}$	$aCW_{max}$	3	0	0	0
AC_VI	$(aCW_{min}+1)/2-1$	$aCW_{min}$	2	6,016	3,008	0
AC_VO	$(aCW_{min}+1)/4-1$	$(aCW_{min}+1)/2-1$	2	3,264	1,504	0

Параметри  $aCW_{min}$  і  $aCW_{max}$  у таблиці відносяться до значень  $CW_{min}$  та  $CW_{max}$ ,

різних специфікацій фізичного рівня: DS-ССК – 802.11b, OFDM – 802.11a, інші технології – 802.11g.

Режим ТхОР характеризується тим, що окрема станція має право ініціювати передавання кількох кадрів поспіль. Тривалість ТхОР визначається параметром ТхОРLimit[AC], що називається межею ТхОР. Рекомендовані значення цього параметра наведено в табл. 3.5. На рис. 3.9 наведено часову діаграму режиму ТхОР.

Протягом режиму EDCA ТхОР станції можуть передавати кілька кадрів даних однакової категорії доступу, з проміжками часу SIFS між ACK і наступним кадром. На рис.3.8 інтервал передавання двох кадрів менше, ніж межа EDCA ТхОР. Декілька послідовних передач кадрів під час режиму ТхОР зумовлює можливість підвищити ефективність комунікації за рахунок скорочення непотрібних процедур відстрочки.

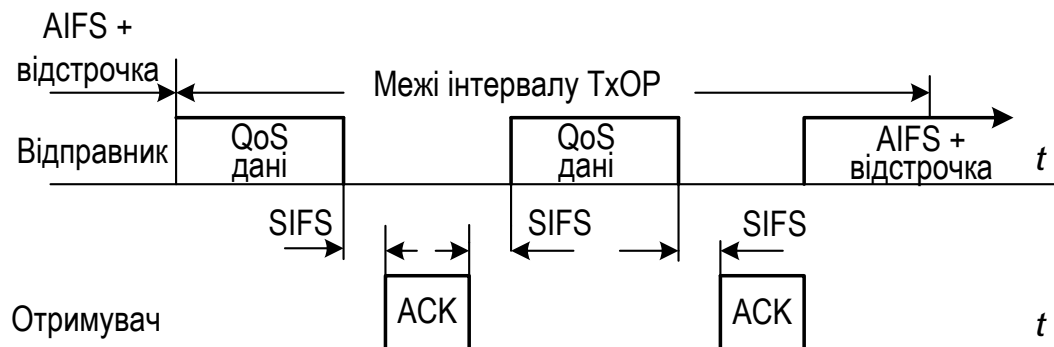


Рисунок 3.8 – Діаграма розподілу часу для режиму EDCA ТхОР

Режим EDCA 802.11e для непланових мереж може забезпечити розподілений доступ до каналу для кадрів з різним пріоритетом користувача. Проте, його можливості, як це визначено в даний час, дещо обмежені, оскільки вони обумовлені використанням фіксованих параметрів, що виставлені під час налаштування обладнання. Формально такий підхід обумовлено відсутністю в мережі об'єкту централізованого керування (наприклад, точки доступу), однак, можна застосувати кращий спосіб для поліпшеного забезпечення QoS у непланових мережах.

Гнучку зміну параметрів непланової мережі в режимі EDCA може бути забезпечено шляхом впровадження динамічної адаптації параметрів EDCA за допомогою обміну інформаційними повідомленнями між станціями, що беруть участь у передаванні потоків даних..

### **3.2.3 Особливості організації поліпшеного розподіленого доступу до каналу за специфікацією IEEE 802.11e**

Для того, щоб зрозуміти механізм пріоритетного управління в режимі EDCA [11] та оцінити його ефективність, необхідно безпосередньо розглянути доступ до каналу.

Для аналізу процесу застосуємо такий самий підхід, як і для режиму розподіленої функції координації DCF. Тобто, будемо аналізувати ситуацію, коли усі станції функціонують у режимі насичення. Оскільки передбачено використовувати інтервали часу різного призначення, для зручності будемо називати елементарний інтервал, тривалість якого визначено у відповідних специфікаціях 802.11, часовим слотом. Процес доступу до каналу в режимі DCF можна розглянути як розподілений на певні проміжки часу. Ці проміжки містять ціле число часових слотів відстрочки, що формуються слідом за інтервалом активності каналу (інтервал передавання кадру інформації), плюс час інтервалу DIFS (DCF Interframe Space). Тобто, з метою пошуку моментів, коли відбудеться передавання пакету, ресурси каналу можуть бути подані як послідовність порожніх (неактивних) проміжків часу, які є інтервалами відстрочки, протягом яких жодна зі станцій не здійснює передавання; активних (зайнятих) інтервалів, протягом яких здійснюється передавання пакетних даних (куди входять також кадри підтвердження успішної передачі ACK), а також інтервали DIFS. Режим DCF передбачає для кожної станції однакову ймовірність доступу до каналу.

Застосуємо цей підхід до аналізу роботи каналу у режимі EDCA. Однак, го-

ловна відмінність від вищезгаданого алгоритму полягає в тому, що проміжки часу, протягом яких може здійснюватись передавання пакетних даних, розділені спеціальними канальними інтервалами. У режимі EDCA доступ залежить від мінімальних значень арбітражних інтервалів міжкадрових проміжків AIFS, які використовують конкуруючі станції з різними класами трафіку. Оскільки застосовано інтервали AIFS різної тривалості, це має призвести до певних переваг щодо передавання інформаційних потоків з меншою тривалістю AIFS (класи трафіку з більш високим пріоритетом) [29].

На рис. 3.4 наведено приклад типового розподілу часових інтервалів каналу EDCA, у разі передавання потоків з двома різними пріоритетами.

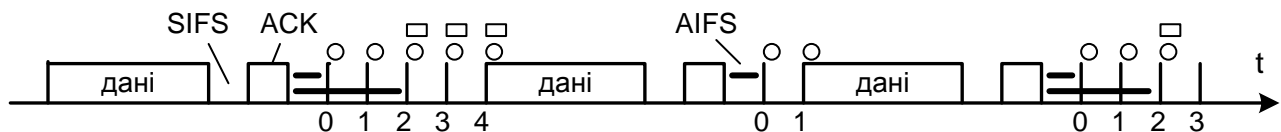


Рисунок 3.10. Діаграма розподілу часових інтервалів у режимі EDCA для двох пріоритетних інформаційних потоків з параметрами  $AIFSN[AC_1] = AIFSN[AC_2] + 2$

Дискретні моменти часу, коли може бути здійснено доступ до каналу, позначені кружечками для кадрів з вищим пріоритетом та прямокутниками для кадрів з нижчим пріоритетом й пронумеровані відповідно до нормованого часу, що минув з моменту останньої активності каналу.

Оскільки для кожного класу трафіку визначено певне значення AIFS (наприклад, різниця між двома значеннями AIFS для різних класів дорівнює двом часовим слотам відстрочки), доступ до деяких канальних слотів може отримати тільки один клас. На рис. 3.10 такими є часові слоти 0 та 1. Ці слоти називаються захищеними. Звернемо увагу на те, що захищені слоти присутні після кожного інтервалу передавання високопріоритетних кадрів, і тому, із зростанням навантаження на мережу, кількість захищених часових слотів збільшується.

Момент завершення відліку відстрочки для кожної станції в режимі EDCA

залежить від значення лічильника відстрочки та від конкретно встановленого інтервалу AIFS, що визначається пріоритетом обслуговуваного трафіку. SIFS (Short Interframe Space) – проміжок часу перед надходженням кадру ACK.

Під час дослідження впливу тривалості  $CW_{min}$  та AIFS кожної станції, що передає інформаційний потік  $i$ -ої категорії доступу, значення лічильника відстрочки в кінці кожного періоду передавання кадру даних позначимо через  $b_i$ , а символом  $\delta_i$ , позначимо число додаткових часових слотів, що встановлено для проміжку AIFS низькопріоритетної станції по відношенню до мінімального значення AIFS, застосованого в мережі. Тривалість інтервалу AIFS задають параметром AIFSN[AC<sub>1</sub>]. AC – клас доступу.

### **3.2.4 Оцінювання ефективності застосування змінних значень параметра $CW_{min}$**

З метою визначити можливість перерозподілу ресурсів безпроводового каналу за рахунок застосування різних значень  $CW_{min}$  для передавання кадрів даних, що відносяться до різних класів трафіку проаналізуємо процес функціонування безпроводової мережі в насиченому режимі[29]. Для з'ясування функціональної залежності між часткою пропускної здатності каналу, що припадає на станції з певним пріоритетом, і мінімальним значенням конкурентного вікна  $CW_{min}$ , що призначено кадрам даних цього класу, скористаємось співвідношенням для ймовірності успішного передавання кадру даних  $\tau$  під час довільного елементарного часового інтервалу. У випадку EDCA поведінку кожної станції буде характеризувати ймовірність успішного передавання пакетів даного класу  $\tau_k$ , яка залежатиме від класу доступу  $k$ , до якого віднесено інформаційний потік кожної станції.

Як було зазначено вище, усереднена тривалість інтервалу очікування під час здійснення  $i$ -ої спроби передати кадр даних для станції з насиченим навантаженням дорівнює  $CW_i/2$  ( $CW_i$  – величина конкурентного вікна в елементарних часових



під час здійснення  $i$ -ої спроби).

Знайдемо ймовірність успішного передавання  $\tau_k$  як повну ймовірність з урахуванням можливості виникнення колізій і за умови обмеження кількості повторних спроб  $R_k = R = (m+1)$ . Розглянемо випадок, коли кількість активних станцій, що функціонує в мережі становить  $N \geq 4$ . У такому разі, як це було проаналізовано вище, можна вважати, що ймовірність колізій під час будь-якої спроби передати кадр даних є величиною постійною, тобто  $p_c \approx \text{const}$ .

На підставі зазначеного, можна записати, що під час першої спроби ймовірність здійснити успішне передавання починаючи з довільного елементарного часового слоту становитиме  $(1 - p_c) \cdot CW_1/2$ , а з урахуванням можливих додаткових спроб для пакетів, що відносяться до трафіку  $k$ -го класу можна записати

$$\begin{aligned} \tau_k &= \frac{2}{CW_1^{(k)}}(1 - p_c) + \frac{2}{2CW_1^{(k)}}(1 - p_c)p_c + \dots + \frac{2}{2^m CW_1^{(k)}}(1 - p_c)p_c^m = \\ &= \frac{2(1 - p_c)}{CW_1^{(k)}} \sum_{i=1}^{m+1} \left(\frac{p_c}{2}\right)^{i-1} = \frac{2(1 - p_c)}{CW_1^{(k)}} \cdot \frac{1 - (p_c/2)^{m+1}}{1 - p_c/2}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

де  $CW_1^{(k)}$  – значення конкурентного вікна під час першої спроби для станції, що передає пакети трафіку  $k$ -го класу.

У даному випадку для оцінювання розподілу ресурсів мережі не можна застосувати концепцію віртуального конкурентного вікна, оскільки для пакетів різного класу усереднена періодичність передавання буде різною, через застосування конкурентних вікон  $CW_1^{(k)}$  різної тривалості. Вирішення поставленого завдання можна знайти виходячи із тієї умови, що мережа функціонує в насиченому режимі. Як уже зазначалось раніше, процес передавання кадрів даних у такій мережі можна розглядати, як стаціонарний випадковий процес. Для стаціонарного процесу можна виділити певний інтервал стаціонарності. Нехай цей інтервал складається з елементарних часових слотів. Розглянемо ситуацію, коли в мережі здійсню-

ється передавання двох класів трафіку  $k$  і  $q$ . Передавання пакетів класу  $k$  здійснюють  $N_k$  станцій і  $N_q$  станцій здійснюють передавання пакетів класу  $q$ . Застосувавши формулу (3.5) можна визначити кількість кадрів кожного з класів  $n_k$  й  $n_q$ , які буде передано протягом інтервалу стаціонарності.

$$\begin{aligned} n_k &= s \cdot \tau_k \cdot N_k = s \cdot \frac{2(1-p_c)}{CW_1^{(k)}} \cdot \frac{1-(p_c/2)^{m+1}}{1-p_c/2} \cdot N_k, \\ n_q &= s \cdot \tau_q \cdot N_q = s \cdot \frac{2(1-p_c)}{CW_1^{(q)}} \cdot \frac{1-(p_c/2)^{m+1}}{1-p_c/2} \cdot N_q. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Знайдемо тепер співвідношення кількості переданих протягом інтервалу стаціонарності кадрів даних, що відносяться до різних класів трафіку

$$n_k : n_q = \frac{N_k}{CW_1^{(k)}} : \frac{N_q}{CW_1^{(q)}} = \frac{N_k \cdot CW_1^{(q)}}{N_q \cdot CW_1^{(k)}}. \quad (3.4)$$

На підставі зробленого аналізу для двох класів трафіку, отриманий результат можна розповсюдити на більшу кількість класів трафіку з пріоритетами, що передають одночасно через безпроводову мережу. Так, із співвідношення (3.3) можна зробити висновок, що кількість кадрів даних певного класу, які було передано протягом заданого інтервалу часу буде у середньому пропорційною кількості станцій, що передають трафік даного класу та обернено пропорційною початковому значенню конкурентного вікна застосованого для забезпечення передавання цього класу трафіку.

Як зазначалось у табл. 3.4 обсяг інформації, що міститься у пакетах різного мультимедійного трафіку може мати значні відмінності (відрізнятись у кілька разів). Тому, для оцінки розподілу пропускної здатності каналу між складовими трафіку різного класу обов'язково треба знати розмір пакетів, що належать до певного класу.

У загальному вигляді розподіл пропускної здатності каналу між станціями що передають трафік двох класів можна подати співвідношенням

$$\frac{S_k}{S_q} = \frac{N_k \cdot E[PL_k] \cdot CW_1^{(q)}}{N_q \cdot E[PL_q] \cdot CW_1^{(k)}}, \quad (3.5)$$

де  $E[PL_k]$  - усереднений розмір корисного навантаження  $k$ -го класу.

Для наочності отриманих результатів на рис. 3.11 наведено числові значення зробленої оцінки розподілу загальної пропускної здатності між станціями мережі, що використовують різні значення  $CW_{min}$ .

Графік отримано для випадку, коли у станцій, що обслуговують високопріоритетний клас даних,  $CW_1^{(k)} = 32$  залишається незмінним, а у низькопріоритетного класу даних конкурентне вікно  $CW_1^{(q)}$  має початкове значення 32 і далі збільшується відповідно до двійкового показникового закону. Кількість станцій різних класів однакова,  $N_k = N_q$ . Таким чином, крива на рис.3.11 відображає можливість перерозподілу ресурсів каналу між потоками з різними пріоритетами, завдяки використанню конкурентних вікон різної величини.

Аналізуючи співвідношення (3.4-3.5), можна зробити висновок, що абсолютне значення пропускної здатності, яке припадає на трафік певного класу залежить від загального навантаження мережі. Перерозподіл загальної пропускної здатності мережі між станціями з різним пріоритетом, що здійснюється шляхом використання різних мінімальних значень параметра  $CW_{min}$ , залежить від навантаження кожного класу: чим більша кількість станцій певного класу – тим більша частка загального насиченого трафіку припадає на відповідний клас, чим більший обсяг корисного навантаження міститься у кадрі даних певного класу – тим більша частка загальної пропускної здатності припадає на даний клас трафіку.

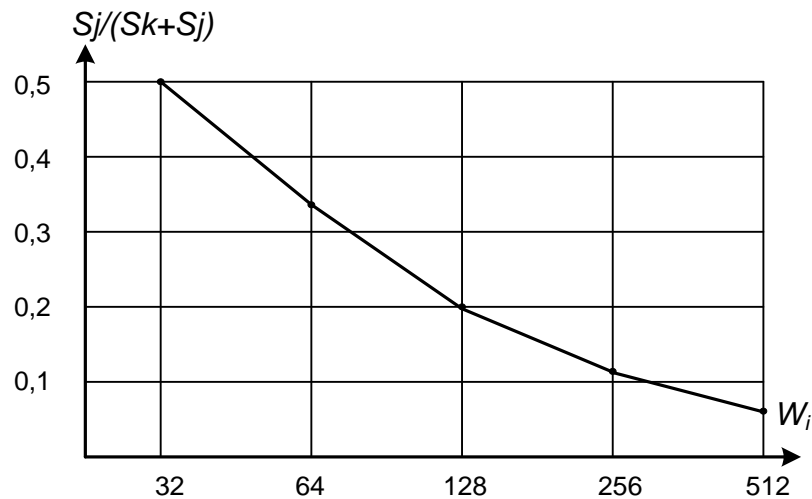


Рисунок 3.11. Графік відносної частки пропускної здатності мережі для низькопріоритетного трафіку за умови, що для високопріоритетного трафіку  $CW_{min}=31$  [29]

### 3.2.5 Оцінювання ефективності застосування змінних значень тривалості AIFS

Використання змінних значень міжкадрових проміжків AIFS мотивується зовсім іншим, порівняно зі змінним значенням  $CW_{min}$ , фізичним обґрунтуванням. Ідея полягає в резервуванні каналних часових слотів для доступу станцій вищого пріоритету. Як було показано на рис. 3.7, коли деякі станції використовують різні значення AIFS, існує період часу, в якому станції з більш короткими значеннями AIFS (станції більш високого пріоритету) можуть отримати доступ до каналу, тоді як станції з більшим значенням AIFS (нижчого пріоритету) не можуть отримати доступу.

Найбільша проблема використання інтервалів AIFS різної тривалості полягає в тому, що захищені слоти мають місце після кожного періоду зайнятості каналу. Це означає, що відсоток захищених слотів значно збільшується, у разі зростання навантаження на мережу.

За наявності інтервалів AIFS змінної тривалості припущення про постійну ймовірність колізії на один слот буде неправильним. Таким чином, аналіз специфікації EDCA не може бути простим узагальненням моделі для режиму DCF, як і у випадку із змінними значеннями  $CW_{min}$ .

У літературі запропоновано кілька підходів до вирішення цієї проблеми з різними рівнями складності і точності. Пропонуємо більш простий і зручний для аналізу функціонування мережі підхід до моделювання процесів на каналному рівні EDCA, спрямований на отримання відносних значень пропускнуєї спроможності для потоків, віднесених до різних класів доступу. Хоча для даної моделі є формальне обмеження, обумовлене припущенням, що ймовірність колізії є малою величиною, тим не менш, запропонована модель має ту перевагу, що вона є достатньо простою для фізичного розуміння того, чому використання інтервалів AIFS різної тривалості є ефективним засобом розподілу ресурсів каналу між потоками різних класів. Що ж до вимоги стосовно малого значення ймовірності колізій, то ця вимога завжди виконується у реальних мережах. За іншої умови мережа перестане нормально функціонувати [24].

Для зручності аналізу, обмежимося випадком, коли треба забезпечити передавання інформаційних потоків двох класів сервісів,  $j$  та  $k$ , для яких використовуються однакові параметри конкурентного вікна, але різні тривалості інтервалів AIFS.

Будемо вважати, що інтервали AIFS, що відносяться до потоку класу  $j$ , довші від інтервалів для класу  $k$  на ціле число інтервалів відстрочки (елементарних часових слотів)  $\delta_j$ .

Очевидно, що станції, які передають потік класу  $j$  будуть мати менший пріоритет доступу до каналу внаслідок більшої тривалості інтервалів AIFS, ніж ті, що передають потік класу  $k$ .

Припустимо тепер, що станції, які відносяться до обох класів, функціонують за умов, коли ймовірності виникнення колізій є малою величиною ( $p_c \ll 1$ ). На під-

ставі зробленого вище аналізу процесу передавання кадрів, у разі однакових значень параметра  $CW$ , можна зробити висновок, що ймовірність отримати доступ до каналу  $\tau_j$  і  $\tau_k$  для станцій, що належать до цих двох класів, буде однаковою, і що цю ймовірність можна визначити із співвідношення (3.10), тобто

$$\tau_j = \tau_k \approx \frac{2}{CW_i} = \tau. \quad (3.6)$$

Проаналізуємо сукупність інтервалів, наведених на рис.3.11. Завдяки наявності захищених інтервалів, станція класу  $j$  зможе отримати доступ до каналу тільки в незахищеному часовому інтервалі, що з'явиться після завершення процесу передавання альтернативного потоку. Такий момент виникне принаймні тоді, коли завершиться  $\delta_j$  – часовий слот відстрочки (на рис.3.10  $\delta_j = 2$ ).

Розглянемо тепер випадок, коли маємо в мережі  $n_k$  і  $n_j$  конкуруючих станцій з високим і низьким пріоритетом, відповідно. Ймовірність  $\pi_k$  того, що жодна станція з високим пріоритетом не отримає доступу до каналу протягом  $\delta_j$  захищених інтервалів, є ймовірністю того, що жодна з цих  $n_k$  станцій з високим пріоритетом не буде передавати в жодному з  $\delta_j$  захищених інтервалів, тобто,

$$\pi_k = (1 - \tau)^{n_k \delta_j}. \quad (3.7)$$

Якщо припустити, що протягом незахищених інтервалів всі станції (незалежно від того, який клас трафіку вони передають) мають однакову ймовірність доступу до каналу для передавання кадру інформації, всі вони мають можливість виграти суперечку за канал з однаковою імовірністю.

Таким чином, ймовірність того, що наступною в незахищеному інтервалі передавання буде здійснювати станція класу  $j$ , буде визначатись співвідношенням

$$\tau_j' = \frac{n_j}{n_j + n_k} . \quad (3.8)$$

Для станцій з низькопріоритетним трафіком  $j$  ймовірність доступу до каналу з урахуванням захищених інтервалів на підставі (3.7) й (3.8) становитиме

$$\tau_j'' = \frac{n_j}{n_j + n_k} \cdot (1 - \tau)^{n_k \delta_j} . \quad (3.9)$$

Якщо не брати до уваги колізії, можна приблизно оцінити перерозподіл пропускної здатності безпроводового каналу між потоками з двома пріоритетами, оскільки для високопріоритетного трафіку у насиченій мережі буде мати місце  $\tau_k'' = 1 - \tau_j''$ . Перерозподіл пропускної здатності мережі між станціями з трафіком різного класу, за умови передавання кадрів однакової величини в кожному з потоків, буде визначатись співвідношенням ймовірності доступу станцій відповідного класу до каналу. Тобто, можна записати

$$\frac{S_j}{S_k} = \frac{\tau_j''}{1 - \tau_j''} = \frac{\frac{n_j}{n_j + n_k} (1 - \tau)^{n_k \delta_j}}{1 - \frac{n_j}{n_j + n_k} (1 - \tau)^{n_k \delta_j}} . \quad (3.10)$$

На рис. 3.12-3.13 наведено результати розрахунків щодо розподілу пропускної здатності каналу між потоками даних різного класу, зроблених з використанням отриманого співвідношення (3.14), для випадку  $n_k = n_j = N$  й різних значень конкурентного вікна  $CW_{min}$ .

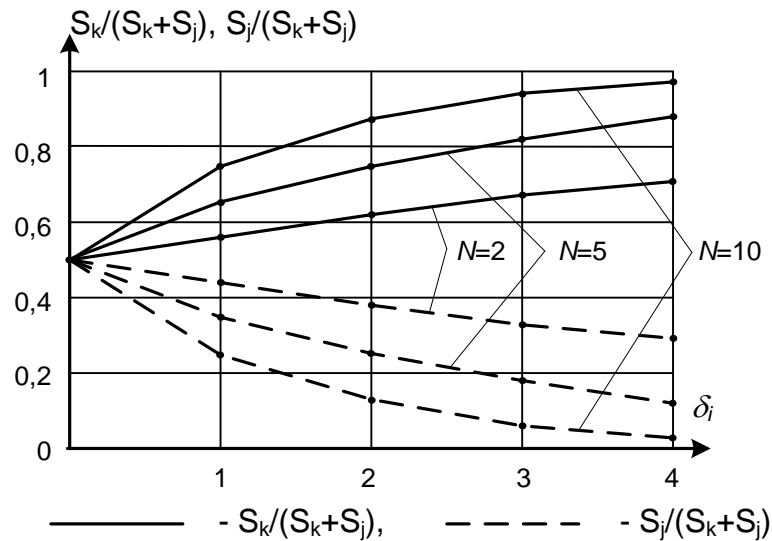


Рисунок 3.12. Графіки розподілу ресурсу каналу між станціями з різним пріоритетом, залежно від різниці тривалості AIFS,  $CW_{min} = 15$

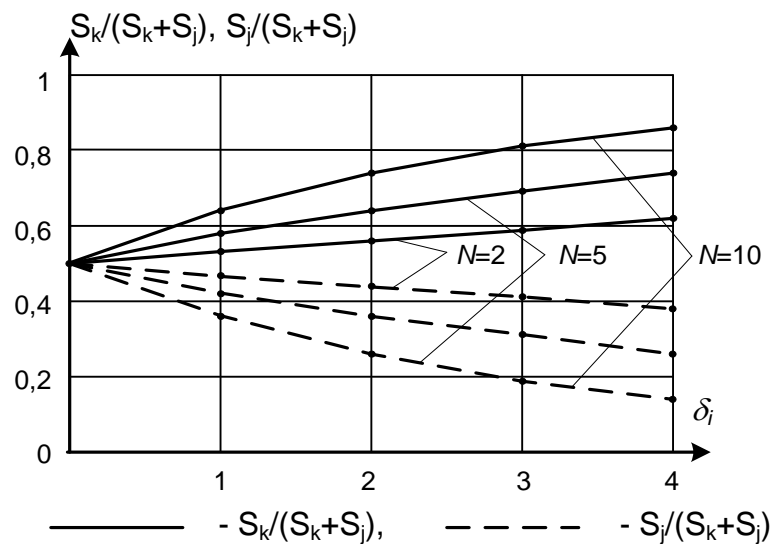


Рисунок 3.13. Графіки розподілу ресурсу каналу між станціями з різним пріоритетом, залежно від різниці тривалості AIFS,  $CW_{min} = 31$

Виходячи з аналізу форми графіків на рис. 3.12-3.13, можна зробити висновок, що ефект від застосування інтервалів AIFS різної тривалості подібний до ефекту від використання змінного значення параметра  $CW_{min}$ , рис.3.11.

Однак, ефективність даного методу керування процесом передавання мультимедійних потоків різного класу залежить від величини обраного значення конкурентного вікна  $CW_{min}$ , від кількості станцій, що обслуговують трафік певного



класу, від величини різниці тривалості інтервалів AIFS для інформаційних кадрів різного класу. Збільшення значення  $CW_{min}$  призводить до зменшення чутливості мережі щодо зміни тривалості інтервалів AIFS. Так, наприклад, у випадку  $CW_{min} = 31$  співвідношення частки пропускну здатності, що припадає на високопріоритетний трафік і частки низько пріоритетного трафіку становить 1,75:1 ( $\delta_i = 2$ ), рис.3.13, а у разі  $CW_{min} = 15$  це співвідношення становить 3:1, рис.3.12.

Кількість активних станцій в мережі також суттєво впливає на процес перерозподілу ресурсу безпроводового каналу. З наведених графіків видно, що ефективність застосування інтервалів AIFS різної тривалості істотно залежить від кількості конкуруючих станцій. Наприклад, для випадку, коли  $N = 2$  (загалом чотири станції в мережі), для значення  $\delta_j = 1$  частка каналного ресурсу, що припадає на станції з високим пріоритетом у мережі з двома пріоритетами (використовується дві різні тривалості AIFS), становить приблизно 56,5% ( $CW_{min} = 15$ ), для випадку  $N = 5$  (10 станцій у мережі) – 64,6%. Зростання частки пропускну здатності, що припадає на станції високопріоритетного класу із збільшенням їх числа обумовлено тим, що збільшується кількість станцій, яка може здійснювати передавання в зарезервованих для високо пріоритетних пакетів інтервалах часу.

На підставі зазначеного можна зробити висновок, що частка пропускну здатності, яка припадає на високопріоритетний клас трафіку й обумовлена використанням захищених інтервалів різної тривалості, має значну залежність від ступеня високопріоритетного навантаження. Чим більше навантаження, тим більше ефективність використання інтервалів AIFS різної тривалості для забезпечення підвищення надійності передавання мультимедійного трафіку, критичного до затримок. Проаналізований ефект від використання інтервалів AIFS різної тривалості доповнює ефект від застосування мінімального значення конкурентних вікон  $CW_{min}$  різної тривалості, що було розглянуто вище.

### 3.2.6 Оцінювання можливості використання в одному сегменті безпро-

## водової мережі станцій EDCA AC\_BE разом із станціями в режимі DCF

Одним із методів підвищення ефективності функціонування безпроводової мережі може бути застосування режиму AC\_BE шляхом відповідного налаштування обладнання. Щоб з'ясувати можливість і доцільність використання режиму AC\_BE для частини станцій у мережі, що функціонує за специфікацією DCF проаналізуємо процеси, що відбуваються у такій мережі. Оскільки режим поліпшеного доступу до середовища EDCA передбачає зворотну сумісність зі станціями, що функціонують за стандартним режимом DCF, можна говорити про те, що категорія трафіку BE є спадковою по відношенню до базової категорії трафіку DCF [27,28]. Однак, з табл. 3.3, видно, що параметри доступу цих двох режимів мають деякі відмінності. Відмінність полягає в тому, що незважаючи на однакові значення мінімального й максимального конкурентних вікон, міжкадровий інтервал AC\_BE більше ніж DIFS. Тут доцільно згадати, що тривалість інтервалу DIFS дорівнює інтервалу AIFS з параметром AIFSN = 2).

Для аналізу можливості спільного використання станцій у режимі DCF та EDCA скористаємось результатами моделювання такого режиму наведеного в . На рис.3.14 наведено результати моделювання пропускну здатності для мережі, в якій функціонує  $N$  станцій в базовому режимі DCF та  $N$  станцій, що функціонує в поліпшеному режимі EDCA. Однакові лінії функціональних залежностей на рис. 3.14 відносяться до однієї функціональної групи станцій. Їх відповідність пояснено безпосередньо на рис. 3.14. Під час моделювання EDCA станції було налаштовано на стандартні параметри відстрочки DCF ( $CW_{min} = 31$  і  $CW_{max} = 1023$ ), розмір інформаційного пакету – до 1500 байт (максимальний пакет Ethernet), максимальна кількість спроб доступу до каналу – 7 (для всіх станцій). Кадри управління передаються з базовою швидкістю 1 Мбіт/с, а інформаційні кадри зі швидкістю 11 Мбіт/с.

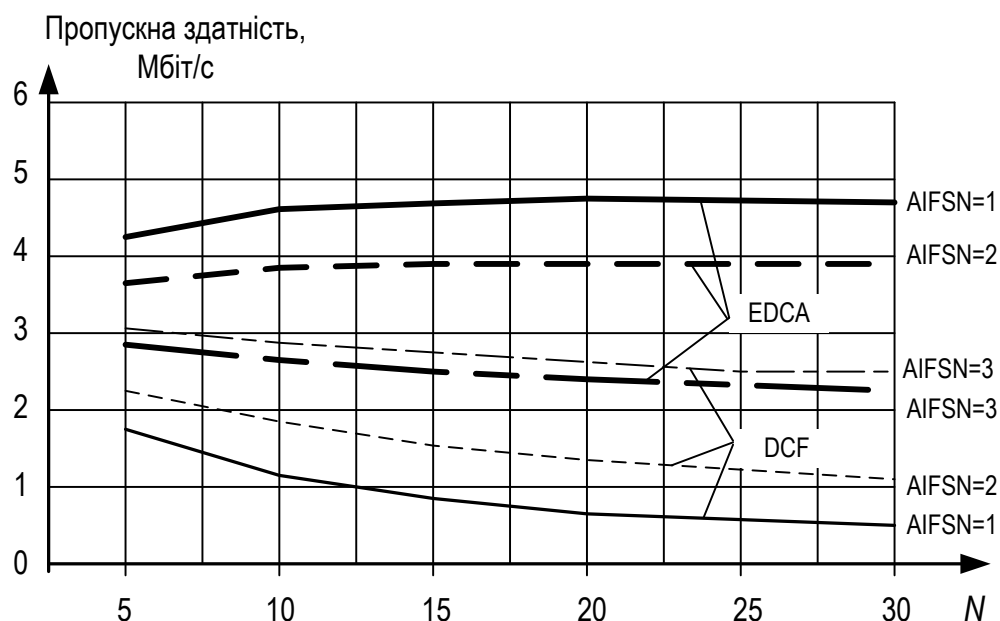


Рисунок 3.14. Розподіл пропускної здатності каналу між EDCA та DCF станціями однієї мережі в разі застосування інтервалів AIFS різної тривалості[29]

Оцінку продуктивності зроблено для мережі, що функціонує в насиченому режимі. Хоча такий режим не зовсім точно відображає процеси в мережі, що функціонує в режимі реального часу, він добре відтворює екстремальні умови, що виникають час від часу в реальних мережах. Проаналізуємо, яку граничну продуктивність для досліджуваної мережі можна досягти. Безпосередньо з рис. 3.14 видно, що EDCA станції у разі застосування AIFSN = 2, отримують набагато більше ресурсів, ніж станції DCF, а в разі AIFSN = 3, відмінність в розподілі пропускної здатності між зазначеними станціями зменшується.

Наведені результати та їх аналіз дозволяють зробити висновок, що параметри початкових установок під час налаштування мережі необхідно вибирати виходячи із необхідності забезпечити зворотну сумісність з режимом DCF.

Для кращого розуміння спільного використання режимів DCF й EDCA доступу до каналу безпроводової мережі необхідно детально проаналізувати, яким чином досягається їх сумісність.

Процес керування лічильником інтервалу відстрочки (декрементування, зу-

пинка, завантаження нового значення) для режимів EDCA й DCF має незначні відмінності. Проте, саме ці незначні відмінності, які на перший погляд сприймаються як формальні, призводять до важливих наслідків щодо використання режиму доступу EDCA станцій спільно з DCF станціями.

Відповідно до специфікації DCF, значення лічильника відстрочки зменшується під час кожного вільного часового слоту, зупиняється в періоди активності каналу і відновлює зворотний відлік (відлік на зменшення значень) після детектування вільного стану каналу після завершення інтервалу DIFS. Часові діаграми, що пояснюють зазначений процес наведено на рис. 3.15.

Діаграму побудовано для таких значень лічильника, що наглядно демонструють відмінності, пов'язані з режимами EDCA та DCF. На діаграмі зайнятий інтервал починається, коли лічильник відстрочки досліджуваної DCF станції містить значення 4. Це значення буде зафіксовано на час зайнятості каналу, і лік буде відновлено знову зі значення 4, тільки після закінчення інтервалу DIFS, що має місце після передавання поточного кадру. Тобто, лічильник набуде значення 3 після інтервалу DIFS.

У режимі EDCA значення лічильника відстрочки також зменшується на одиницю після завершення кожного вільного елементарного інтервалу (часового слоту) й зупиняється під час зайнятості каналу, але він відновлює лік за один елементарний інтервал до завершення інтервалу AIFS. Це означає, що, коли інтервал AIFS закінчується значення лічильника відстрочки буде зменшено на одиницю.

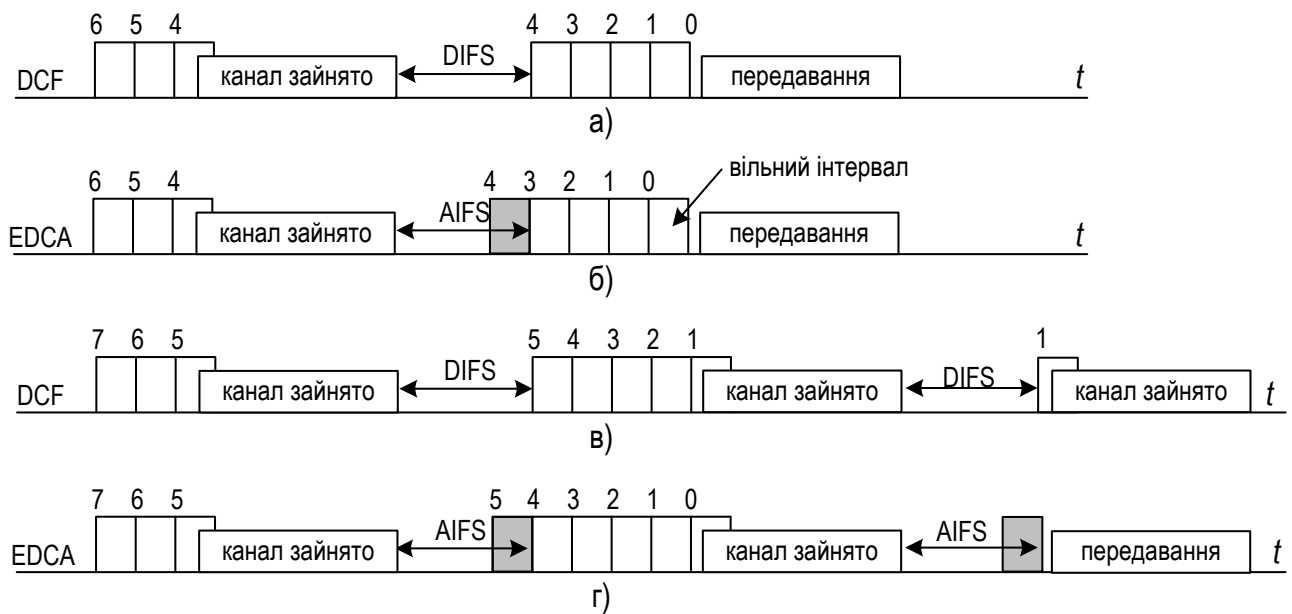


Рисунок 3.15. Діаграми процесу керування лічильником відстрочки для EDCA та DCF станцій за умови AIFSN=2

Крім того, оскільки в режимі EDCA допускається тільки одна операція процесу внутрішньомережної взаємодії на MAC рівні (в даному випадку мова йде про декремент або передавання одного інформаційного кадру), коли значення лічильника зменшується до 0, станція не може передавати відразу. Вона має чекати ще один додатковий часовий слот відстрочки, якщо канал буде вільний або закінчення наступного інтервалу AIFS, в разі, якщо канал зайнятий. Зазначені ситуації проілюстровано на рис. 3.15в,г.

З'ясуємо тепер особливості функціонування каналу залежно від тривалості інтервалу AIFS. Спочатку розглянемо випадок, коли AIFSN=3. У цьому випадку тривалість інтервалу AIFSN=2 така сама, що й інтервалу DIFS у режимі DCF.

У цьому прикладі дві станції зустрічають інтервал зайнятості каналу з однаковим значенням лічильника відстрочки. Однак, в кінці зайнятого інтервалу станція DCF зберігає значення, що було в лічильнику на момент його зупинки, тобто, значення 4, а станція EDCA активізує лічильник і зменшує його значення на одиницю, рис. 3.15а,б.

У разі, якщо обидві станції мають однакові значення лічильника затримки перед початком зайнятого інтервалу, зазначена відмінність буде компенсуватися тим, що станції EDCA на відміну від станції DCF доведеться чекати додатковий слот перед тим, як почати передавання відповідно до специфікації цього режиму. Тобто, після того, як у лічильнику станції EDCA установиться 0, вона має пропустити ще один елементарний інтервал (часовий слот) перш, ніж почати сеанс передавання.

Проте, в тому випадку, коли декрементування лічильника відстрочки здійснюється протягом кількох послідовно зайнятих канальних інтервалів (що як правило має місце в мережах з обміном потоковою інформацією), станції EDCA отримають перевагу у зменшенні значення лічильника протягом кожного зайнятого канального інтервалу. Ця перевага зростає із збільшенням кількості конкуруючих станцій.

За допомогою рис. 3.15 можна з'ясувати іще одну причину, завдяки якій станція EDCA отримує певну перевагу над станцією DCF щодо доступу до каналу за умови AIFSN = 3.

Аналізуючи діаграму (нижній рядок AIFSN = 2), можна дійти висновку, що станція EDCA може перейти в режим передавання відразу ж після інтервалу зайнятості каналу, оскільки значення лічильника після завершення інтервалу AIFS дорівнює 0. В той же час, станція DCF не може скинути значення лічильника відстрочки до нуля. Таким чином, єдиний випадок, коли станція DCF може отримати доступ до каналу одразу ж після завершення зайнятого інтервалу, це випадок, коли після успішного передавання лічильник станції DCF буде встановлено в початковий стан, що дорівнює 0.

Для того, щоб синхронізувати процес відліку часу відстрочки для EDCA і DCF станцій, може бути доцільним встановити AIFSN = 3. У цьому випадку, як ми бачимо на рисунку 3.16 хоча станція EDCA формує більший міжкадровий проміжок, після кожного зайнятого інтервалу, відстрочка доступу до каналу для обох

станцій буде однакова.

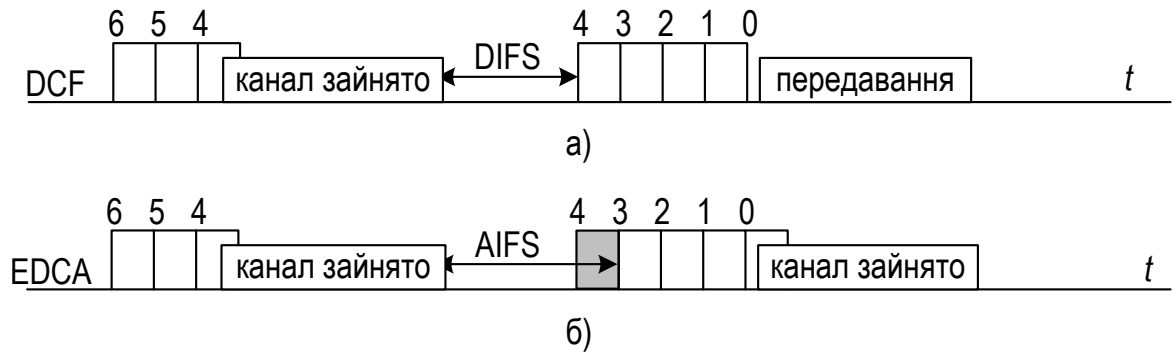


Рисунок 3.16. Діаграми процесу керування лічильником відстрочки для EDCA та DCF станцій за умови AIFSN=3

Однак, оскільки станція EDCA має чекати наступного вільного часового інтервалу після останнього декрементування, що призвів до встановлення 0, ймовірність доступу до каналу для двох типів розглянутих станцій буде різною. Але в цілому ця обставина призводить лише до невеликого збільшення ймовірності доступу до каналу для станції DCF.

Ця перевага проявляється у незначному збільшенні частки каналного ресурсу для станції DCF у порівнянні зі станцією EDCA в мережах з малою кількістю активних станцій (графіки розподілу пропускної здатності каналу між станціями DCF і EDCA, AIFSN = 3 на рис. 3.13).

## Висновки

Запропоновано концепцію віртуального конкурентного вікна, яка дозволила розробити зручну для користування поліпшену аналітичну модель безпроводового каналу для мережі, організованої за стандартом 802.11.

У результаті досліджень значень ймовірності колізії під час послідовних спроб передати кадр даних з'ясовано, що:

- у мережах, що містять дві або три активні станції ймовірність виникнення колізії під час першої спроби значно відрізняється від ймовірності виникнення

колізії під час інших спроб. У результаті застосування універсальних аналітичних моделей, в яких зроблено припущення про постійне значення ймовірності колізії, для аналізу мереж, що містять дві або три активні станції, виникають значні похибки оцінки параметрів і розбіжності з результатами натурних випробувань. Як наслідок, для розрахунку параметрів і характеристик таких мереж слід застосовувати окремі математичні моделі для двох активних станцій і для трьох активних станцій;

– для створення універсальної аналітичної моделі процесів, що відбуваються в безпроводовому каналі мережі 802.11 з числом станцій  $N \geq 4$  можна вважати, що ймовірність виникнення колізій є величиною постійною для всіх спроб передавання інформаційних кадрів і визначається значенням мінімального конкурентного вікна й кількістю станцій в мережі.

На підґрунті концепції віртуального конкурентного вікна розроблено аналітичну модель безпроводового каналу для мережі, організованої за стандартом 802.11, як систему рівнянь, що встановлюють безпосередні зв'язки між параметрами мережі. Запропоновані співвідношення може бути безпосередньо використано для здійснення оціночних розрахунків під час планування та експлуатації безпроводових мереж стандарту 802.11.

У результаті застосування розробленої моделі для дослідження показників якості безпроводового каналу з'ясовано, що в мережі з 5 активними станціями ( $CW_{min} = 31$ ) ймовірність втрати кадру даних через колізії складає  $2,878 \cdot 10^{-6}$ , у мережі з 10 станціями –  $2,357 \cdot 10^{-4}$ , у мережі з 25 станціями –  $2,13 \cdot 10^{-2}$ . Безпроводові мережі в режимі DCF характеризуються великими затримками і великою нерівномірністю затримок часу передавання кадрів даних, які швидко зростають із збільшенням числа активних станцій.

У результаті дослідження механізму пріоритизації трафіку шляхом використання змінної величини конкурентного вікна  $CW_{min}$  для різних класів трафіку



отримано математичні залежності (3.4-3.5), що дозволяють оцінити перерозподіл загальної пропускної здатності безпроводового каналу між мультимедійними потоками різного класу. Із отриманих співвідношень випливає, що частка загальної пропускної здатності мережі, яка припадає на потік певного класу пропорційна кількості станцій даного класу і обсягу корисного навантаження в інформаційних пакетах даного класу.

У разі використання міжкадрових арбітражних інтервалів AIFS для здійснення пріоритизації мультимедійного трафіку, частка пропускної здатності, яка припадає на високопріоритетний клас трафіку й обумовлена використанням захищених інтервалів різної тривалості, має значну залежність від ступеня високопріоритетного навантаження. Чим більше таке навантаження, тим більше ефективність використання інтервалів AIFS різної тривалості для забезпечення підвищення надійності передавання мультимедійного трафіку, критичного до затримок.

Установлено, що в разі застосування конкурентного вікна  $CW_{min}$  меншої величини, ефективність застосування інтервалів AIFS змінної величини для перерозподілу ресурсів каналу є більш ефективним.

Дослідження можливості спільного використання в одній безпроводовій мережі станцій, одні з яких функціонують в режимі DCF, а інші в EDCA дозволили зробити висновок, що об'єднання таких станцій можливе й може бути доцільним. Шляхом варіювання значення параметра AIFSN можна досягти бажаної пріоритизації між станціями мережі. Так, для AIFSN = 1 або 2, пріоритет доступу до каналу будуть мати станції, що функціонують в режимі EDCA, а для AIFSN = 3 – станції обох типів будуть мати приблизно однакові можливості доступу до каналу з невеликою перевагою станцій DCF. Запропоновані у специфікації 802.11e механізми підвищення якості та надійності передавання мультимедійного трафіку є ефективними і здатні забезпечити хорошу якість функціонування безпроводової мережі на каналному рівні.

## 4 СТРУКТУРА ДОСЛІДЖУВАНОЇ МЕРЕЖІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

У цьому розділі описано експериментальні дослідження швидкості передавання даних безпроводовою мережею, яка функціонує за технологіями 802.11n та 802.11ac і стандартів IPv4 та IPv6. Метою експерименту є порівняти продуктивність роботи мереж за такими параметрами відносно критеріїв якості передавання аудіовізуальних даних (затримка, джитер, пропускна спроможність). Такий експеримент є актуальним в умовах постійного розвитку інформаційних мереж, як відомо: IPv6 витісняє мережі IPv4-протокол через недостатню кількість IP-адрес у останньому; IPv4 забезпечує нижчу пропускну спроможність мережі у випадку з TCP/UDP-трафіком ніж IPv6.

Модель досліджуваної мережі Wi-fi наведена на рисунок 3.1. Схема налічує два персональних комп'ютери (Intel Core i5 Quad Core 760 з частотою процесора 2.8 ГГц, 8 Гб оперативної пам'яті DDR3, накопичувач на 500 Гб (Western Digital), ОС Windows 7 SP1 64 біт). На ПК встановлено безпроводовий дводіапазонний адаптер ASUS PCE-AC66 802.11ac, а точкою доступу обрано обладнання Linksys EA6500, також дводіапазонний адаптер сумісний з технологією 802.11ac.

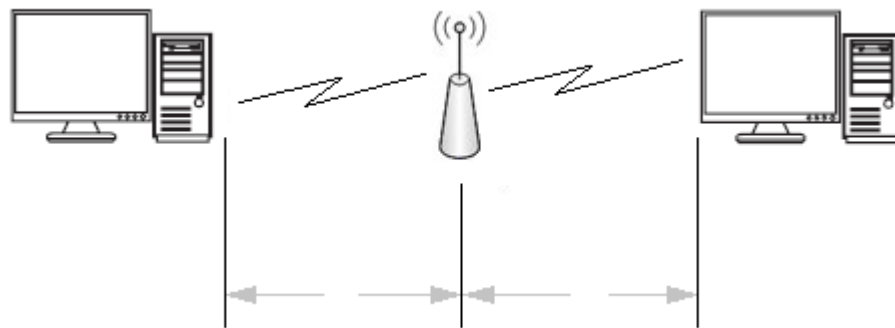


Рисунок 4.1 – Модель досліджуваної мережі

ПК з'єднані з точкою доступу безпроводовим каналом. Кожному з ПК прис-

воїли статистичну IP-адресу. Відстань між робочими станціями не перевищує двох метрів. Ця умова необхідна для забезпечення сигналу оптимальної потужності та належної якості.

Linksys EA6500 функціонує згідно таким протоколам безпеки: WEP, WPA Personal, WPA Enterprise, WPA2 Personal, WPA2 Enterprise та WPA2/WPA. Але, як відомо, застосування шифрування мережі знижує її пропускну спроможність, тому для досягнення максимальних показників пропускну спроможності тип шифрування не задавали (тестування проводили у незахищеному режимі).

Точка доступу налаштована в режимі автоматичного вибору каналу. Це обумовлене алгоритмом вибору каналу моделі EA6500 – вибір найменш зашумленого середовища передавання. Таким чином в діапазоні 2,4 ГГц буде обрано канали в межах від 2,412 до 2,472 ГГц та для діапазону 5 ГГц – від 5,180 до 5,240 ГГц.

Смугу пропускання встановили максимально доступною для всіх пристроїв мережі – 20 МГц для стандарту 802.11n (діапазон 2,4 ГГц), 40 МГц для стандарту 802.11n (5 ГГц) та 80 МГц для 802.11ac. Це можна пояснити тим, що від ширини каналу прямо залежними є пропускну спроможність каналу та як наслідок швидкість передавання даних мережею. Смуга пропускання має бути однаковою для роутера та для абонентів мережі.

Експеримент проведено у два етапи. На першому етапі комп'ютерам присвоювали статистичну IP-адресу IPv4 та тестували роботу в режимі IEEE 802.11n (діапазон 2,4 та 5 ГГц) і в режимі IEEE 802.11ac[23]. На другому етапі IP-адресу змінювали на формат IPv6, інші параметри є незмінними.

Для генерації трафіку використано безкоштовне програмне забезпечення з відкритим кодом DistributedInternetTrafficGenerator (D-ITG). Дане програмне забезпечення сумісне з системами Windows 7, Linux-продуктами (Ubuntu, Debian та ін.) та FreeBSD. Цей продукт часто застосовують для дослідження процесів передавання інформації у безпроводових локальних мережах (DNS, Telnet та

VoIP).

Дослідження проведено для пакетів різної довжини, а саме: 128, 512, 2048, 8192, 32768, 131072, 524288 байт. У рамках експерименту проведено дослідження пропускної спроможності та джитера TCP та UDP трафіку та виміряна затримки протоколів в мережі.

Час проведення тестування обмежений 20 секундами. Задля забезпечення необхідної точності вимірювань кожен з пакетів (різних розмірів) був протестований 3 рази. Для звіту обрані середні значення за результатами трьох вимірювань.

#### 4.1 Аналіз результатів експерименту

Згідно до параметрів, зазначених у специфікації стандарт 802.11ac у два рази швидший ніж 802.11n завдяки більшій кількості просторових потоків MIMO, а також збільшеної смуги пропускання з 40 МГц (n) до 80 МГц (ac).

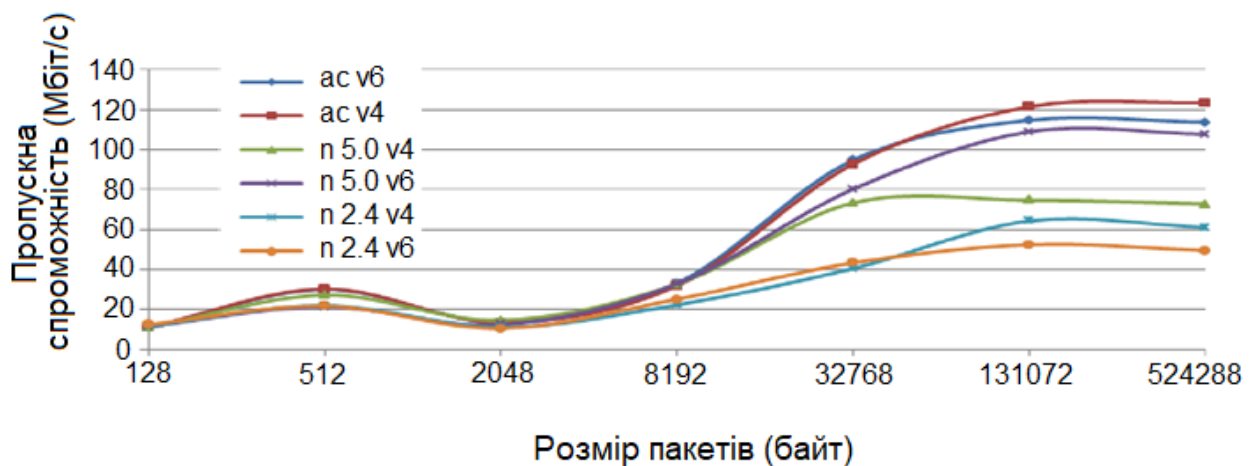


Рисунок 4.2 – Пропускна спроможність для UDP трафіку

На рис. 4.2 наведено графіки залежності швидкості передавання UDPтрафіку від розміру пакетів для різних параметрів мережі. Найбільша різниця між мінімальним (IEEE 802.11nIPv6, 2,4 ГГц) та максимальним (IEEE 802.11acIPv6) значенням помітна для найбільшого з досліджуваних пакету (524288 байт) – IEEE

802.11acIPv6 забезпечує приблизно на 150% (73.8 Мбіт/с) швидше передавання даних ніж IEEE 802.11nIPv6, 2,4 ГГц.

Показники пропускної спроможності для TCP трафіку помітно відрізняються від значень пропускної спроможності для UDP. Про це свідчать залежності на рис 3.3. Зрозуміло, що мережа 802.11n (5,0 ГГц) з протоколом IPv6 досягла швидкості передавання інформації 47 Мбіт/с. Проміжок, у якому коливаються значення пропускної спроможності – 10 Мбіт/с.

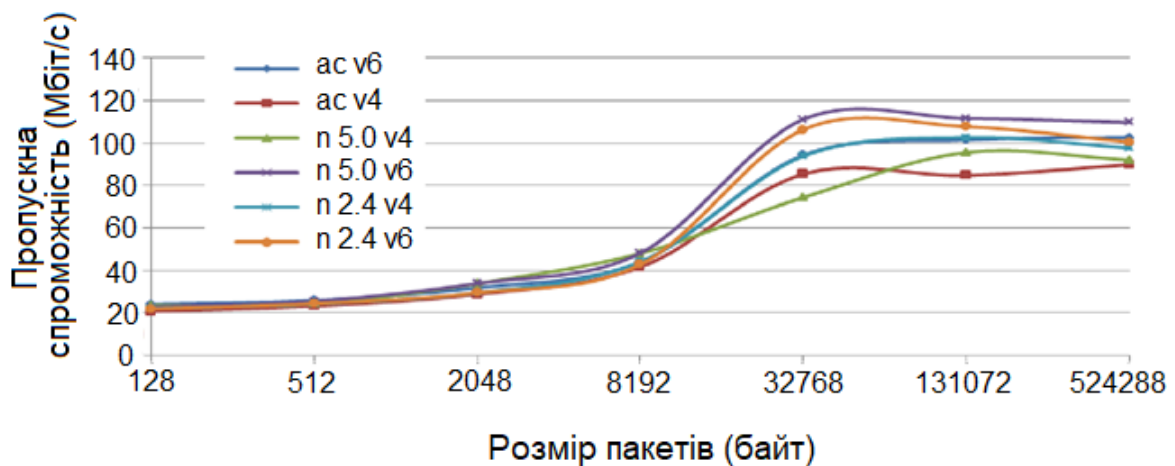


Рисунок 4.3 – Пропускна спроможність для TCPтрафіку

Заголовок IPv4 створює умови, за яких пропускна спроможність мережі знижується. Перша полягає у тому, що для кожного пакету необхідно розраховувати контрольну суму, друга – маршрутизатор обробляє всі поля параметрів пакету.

На відміну від IPv4, у заголовку IPv6 є спеціальне поле, аналізуючи яке маршрутизатор одразу аналізує пакет. Така особливість IPv6 впливає на значення джитера – помітно понижує показники порівняно зі значеннями для IPv4.

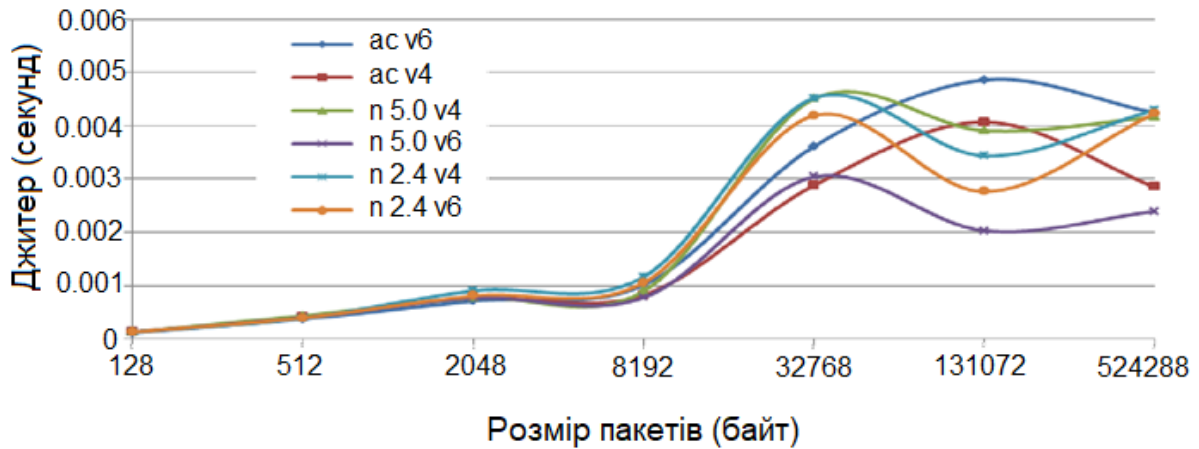


Рисунок 4.4 – Джитер для TCP трафіку

Як видно з рис. 4.5 значення джитера для UDP трафіку у мережі з IPv6 є меншими ніж для мережі IPv4 у більшості випадків. Найбільша різниця у значеннях джитера помічена для пакету розміром 524288 байт – джитер для мережі 802.11nIPv6, 2,4 ГГц на 0.002989 секунд більший ніж для мережі 802.11nIPv6, 5 ГГц.

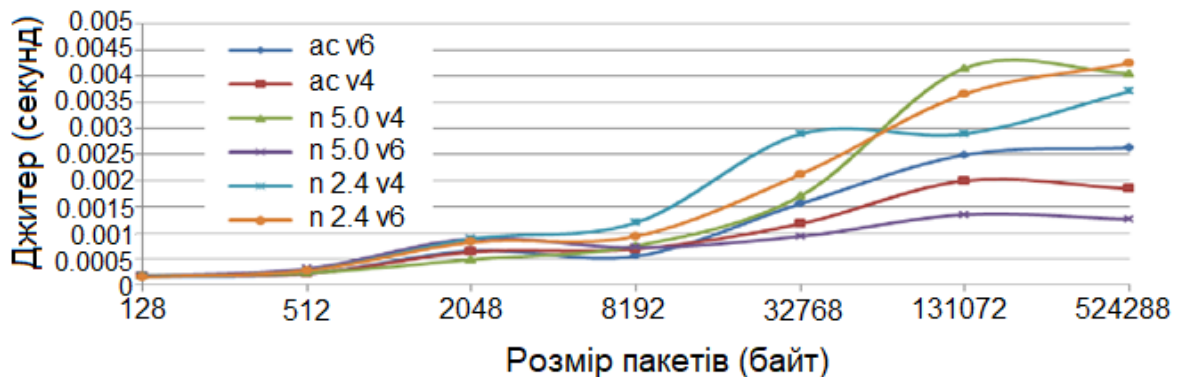


Рисунок 4.5 – Джитер для UDP трафіку

Рис. 4.6 відображає графіки затримки TCP трафіку для усіх експериментальних моделей. Сумарна затримка пакетів для мережі 802.11nIPv6, 5 ГГц є найнижчою, в той час як показники 802.11ac IPv4 є порівняно високими для більшості розглянутих пакетів.

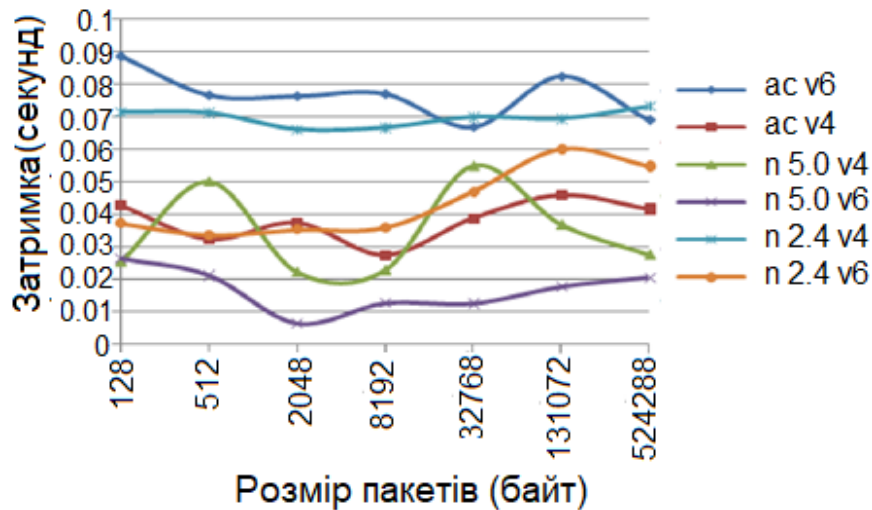


Рисунок 4.6 – Затримки пакетів для TCP трафіку

Рис.4.7 – це графіки зміни затримки пакетів UDPтрафіку. Ситуація з затримками пакетів UDP трафіку подібна до результатів для TCP трафіку. Слід зазначити лиш те, що рівень затримки у мережі 802.11n IPv4, 5 ГГц є найвищим серед усіх мереж розглянутих у ході експерименту.

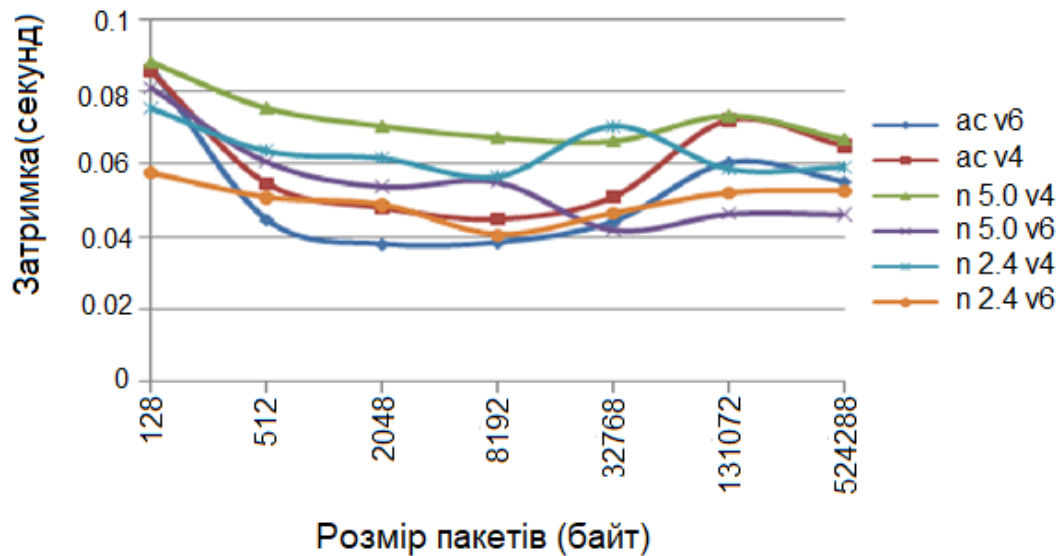


Рисунок 4.7 – Затримка для UDP трафіку

Тестування продуктивності IEEE 802.11ac та IEEE 802.11n мереж засноване на емпіричній моделі[23,24]. У процесі експерименту виміряні затримка, джитер та пропускна спроможність мережі для TCP та UDP трафіку.

## **4.2 Порівняння результатів експерименту з параметрами, зазначеними у специфікації**

Результати показали, що пропускна спроможність мережі стандарту 802.11ac вища порівняно з мережею стандарту 802.11n. Це твердження справедливе як для мережі IPv4, так і для IPv6 мережі. Пропускна спроможність UDP трафіку завжди вища за TCP. Експериментальні значення швидкості передавання UDP в 802.11ac приблизно на 148% вищі за показники мережі 802.11n з частотою 2,4 ГГц. Згідно до параметрів, зазначених у специфікації стандарту 802.11ac у два рази швидший ніж 802.11n завдяки більшій кількості просторових потоків MU-MO[24], а також збільшеної смуги пропускання з 40 МГц (n) до 80 МГц (ac). Як видно на рис. 3.2, для режиму ac IPv6 найвище значення швидкості передавання даних – 120 Мбіт/с, тоді як стандарт 802.11n у режимі IPv6 (2,4 ГГц) досягає швидкості приблизно у два рази меншої.

Розробники сімейства стандартів безпроводового зв'язку 802.11 (IEEE) стверджують, що оновлена версія стандарту 802.11n – 802.11ac дає можливість досягти швидкості передавання даних, як мінімум, 600 Мбіт/с. Найвище значення пропускної здатності зафіксоване експериментально для режиму IEEE 802.11ac IPv6 для UDP трафіку – 123 Мбіт/с.

Значення параметрів затримки та джитера для всіх режимів мережі IPv6 є помітно меншими відносно мережі IPv4. На відміну від IPv4, у заголовку IPv6 є спеціальне поле, аналізуючи яке маршрутизатор одразу аналізує пакет. Така особливість IPv6 впливає на значення джитера – помітно понижує показники порівняно зі значеннями для IPv4. На рис. 3.4 та 3.5 помітно, що таке твердження справедливе і для результатів тестування.



## **Висновок**

У цьому розділі описано експериментальні дослідження швидкості передавання даних безпроводовою мережею, яка функціонує за технологіями 802.11n та 802.11ac і стандартів IPv4 та IPv6.

Показники пропускної спроможності для TCP трафіку помітно відрізняються від значень пропускної спроможності для UDP. Про це свідчать залежності на рисунок 3.3. Зрозуміло, що мережа 802.11n (5,0 ГГц) з протоколом IPv6 досягла швидкості передавання інформації 47 Мбіт/с. Проміжок, у якому коливаються значення пропускної спроможності – 10 Мбіт/с. Значення параметрів затримки та джитера для всіх режимів мережі IPv6 є помітно меншими відносно мережі IPv4. На відміну від IPv4, у заголовку IPv6 є спеціальне поле, аналізуючи яке маршрутизатор одразу аналізує пакет. Така особливість IPv6 впливає на значення джитера – помітно знижує показники порівняно зі значеннями для IPv4.

## **5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ**

В межах даного розділу проаналізовано наступні аспекти стартап-проекту:

- зміст ідеї (що пропонується);
- можливий напрямок застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару;
- відмінність від існуючих аналогів та замінників.

### 5.1 Опис ідеї проекту

У табл. 5.1 наведено зміст ідеї стартап-проекту, , в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів [30] напрямки, де може бути реалізовано проект та вигоди для користувача.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигоди для користувача
Розгортання мереж Wi-Fi, що працює в насиченому режимі, в межах міста	Телекомунікаційні системи та мережі нового покоління	Висока швидкість передавання даних
		Можливість передавання великих обсягів інформації в мережах, що працюють в насиченому режимі
		Мінімальне зниження бітової швидкості зі зростанням абонентів в мережі.
		Забезпечення Інтернет-покриттям місць з великим скупченням людей.

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (відмінність від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик;
- визначення попереднього кола конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та збір інформації

ції щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(Потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Товар-аналог 1	Товар-аналог 2			
1.	Економічні	9000 у.о.	10000 у.о.	6500 у.о.		+	
2.	Призначення	Використання в місцях великого скупчення людей	Використання в громадських місцях	Використання в невеликих приміщеннях			+
3.	Надійності	Довговічність Використання	Довговічність використання	Довговічність використання		+	
4.	Технологічні	Більша швидкість передавання даних, менший вплив кількості абонентів в мережі на якість послуг	Висока швидкість передавання даних, значне зменшення пропускну здатності зі збільшенням користувачів в мережі	Значне зменшення пропускну здатності зі збільшенням користувачів в мережі			+
5.	Ергономічні	Система зручна в користуванні та налаштуванні	Система зручна в користуванні та налаштуванні	Система зручна в користуванні та налаштуванні		+	
6.	Екологічні	Не перевищує встановлену допустиму Потужність	Не перевищує встановлену допустиму потужність	Не перевищує встановлену допустиму потужність		+	
7.	Безпеки	Безпечно	Безпечно	Безпечно		+	

– порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають: а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Визначено перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару, можна зробити висновок, що отримані порів-

няння можуть бути підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

## 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару). Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 5.3):

- технологія, за якою буде виготовлено товар згідно ідеї проекту;
- аналіз наявності такої технології;
- доступність технологій автору проекту.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/ п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технології	Доступність технологій
1.	Математичне дослідження-характеристик мережі Wi-Fi	Програмне середовище Mathcad	Наявна	Доступно, є досвід застосування
2.	Створення віртуальної моделі мережі 802.11	Програмне середовище TamoGraph	Наявна	Доступно, немає досвіду застосування
3.	Розроблення топології мережі	Програмне середовище Cisco Packet Tracer	Наявна	Доступно, є досвід застосування
Обрана технологія для аналізу та дослідження ідеї проекту: Програмне середовище Mathcad та Cisco Packet Tracer				

## 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропози-

цій проектів-конкурентів.

Спочатку проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	1
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	9000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу	Немає
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6.	Середня норма рентабельності в галузі або ринку, %	300

За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження.

Потенційні групи клієнтів, їх характеристики, орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи наведено в табл.5.5.

Проведено аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл.5.6-5.7). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Висока швидкість передавання даних в місцях ве-	Системи мобільного зв'язку, радіозв'язку,	Поведінку клієнта Формують потреби; особливостей купівлі та експлуатації	Мережа має стабільно забезпечувати доступ в Інтернет великий

ликого скупчення людей	телебачення	товару немає	кількості користувачів.
------------------------	-------------	--------------	-------------------------

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Нестача кваліфікованих кадрів	Для налаштування мережевого обладнання потрібна команда людей з відповідним рівнем знань	Пошук персоналу у науково-дослідних інститутах та організаціях
2.	Нестача ресурсів	Для створення продукту потрібне технічне забезпечення та певні умови для тестування працездатності мережі	Укладання угод з державними структурами для фінансування та Надання можливостей для тестування продукту
3.	Фінансова Нестабільність	Потреба в коштах для забезпечення необхідного обладнання.	Пошук інвесторів

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Попит	Існування постійного попиту на зростання швидкості передавання даних означає, що більшість клієнтів зацікавлені у введенні інновацій. Збільшення пристроїв, що підклю-	Рекламна діяльність, просування товару у Інтернеті, участь у формах та конференціях.

		чаються до мережі Інтернет.	
2.	Науково-технічний прогрес	Стрімкий ріст технологій та збільшення наукової бази дозволяють Ефективно вирішити Поставлені завдання	Ознайомлення з останніми патентами у відповідній галузі; відвідування наукових конференцій

Надалі проведено аналіз пропозиції: визначені загальні риси конкуренції на ринку (табл. 5.8).

Після аналізу конкуренції проведений більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за М. Портером) (табл. 5.9).

Сильні позиції компанії за кожним з факторів М. Портера означають її можливості забезпечити необхідні темпи обороту капіталу та її здатність впливати на інших агентів ринку, диктуючи їм власні умови співпраці. Характеристики факторів моделі відрізняються для різних галузей та змінюються із часом.

На основі аналізу конкуренції, наведеного в табл. 5.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 5.2), вимог споживачів до товару (табл. 5.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 5.6-5.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз наведено в табл. 5.10.

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Прояви даної характеристики	Вплив на діяльність Підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: монополія	На ринку є подібні організації, в межах України існує 4 подібні великі компанії, але вони не роз-	Підвищувати якість товару (досягати кращих показників) за рахунок використання передових технологій та залучення-

	гортають всієї мережі, лише локальні точки.	валіфікованого персоналу
2. За рівнем конкурентної боротьби: державний	Компанія-конкурент знаходиться в Україні, проте не надає повний спектр послуг.	Створити веб-сайт компанії, що відповідатиме міжнародним стандартам
3. За галузевою ознакою: внутрішньогалузева	Економічна боротьба між товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у виробничих затратах, якості та ціні	Слідкувати за розвитком продукту конкурента
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращувати рівень якості товару
5. За характером конкурентних переваг: цінова	Передбачає продаж продукції за нижчими цінами ніж конкурент	Продавати товар за помірною ціною
6. За інтенсивністю: Марочна	В сучасній економічній ситуації боротьба носить явно виражений марочний характер, велике значення набуває брендинг	Реклама товару, створення символіки продукту

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Складові аналізу	Висновки
Прямі конкуренти в галузі	"Mosquito Mobile"	Інтенсивність конкурентної боротьби низька
Потенційні конкуренти	Немає	Немає
Постачальники	Немає	Постачальники не диктують умови роботи на ринку



Клієнти	Вимоги до якості (висока бітова швидкість в насиченому режимі)	Товар має задовольняти вимоги клієнтів
Товари-замінники	Забезпечення доступу в Інтернет з меншою швидкістю	Обмежень для роботи на ринку через товари-замінники немає

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор Конкурентоспроможності	Обґрунтування (чинники, щороблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	Продукт має забезпечувати передавання даних з швидкістю близькою або більшою за 8 МБіт/с
2.	Сумісність з існуючими системами	Продукт не має створювати завад для інших систем радіозв'язку
3.	Якість розробки з точки зору показників Надійності	Продукт має забезпечувати достовірність переданих даних
4.	Наявність Кваліфікованих кадрів в команді	Науковці з досвідом та високим рівнем підготовки, які зацікавлені в дослідженні та розвитку методу модуляції на основі комплексних спіралей
5.	Економічний	Ціна товару має бути помірною

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.10) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.11).

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з "Wi-FiKyiv"						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ступінь задоволення потреб Користувача	17			+				

2.	Сумісність з існуючими Системами	18		+					
3.	Якість розробки щодо показників надійності	17				+			
4.	Наявність кваліфікованих-кадрів в команді	15					+		
5.	Економічний	19	+						

На фінальному етапі ринкового аналізу можливостей впровадження проекту виконано SWOT-аналіз (матриця аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 5.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, сильних і слабких сторін (табл. 5.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складено на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 5.13).

Таблиця 5.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	1. Економічна (ціна товару є помірною). 2. Відсутність конкуренції на національному ринку. 3. Ступінь задоволення потреб користувача. 4. Якість розробки з точки зору показників надійності.
Слабкі сторони	1. Нестача наукових та технічних ресурсів. 2. Популярність бренду. 3. Нестійка позиція на ринку.

	4. Вузькопрофільна діяльність.
Можливості	1. Зниження витрат на виробництво продукції. 2. Покращення якості продукту. 3. Формування попиту на товар за рахунок реклами. 4. Освоєння національного ринку. 5. Залучення нових клієнтів. 6. Розширення складу команди. 7. Нові технології
Загрози	1. Несприятлива економічна ситуація в країні. 2. Додатковий державний контроль якості продукту. 3. Товари-аналоги.

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Пошук наукових та технічних ресурсів, Пошук інвесторів, поглиблене дослідження, тестування, створення реклами.	75%	2 роки
2.	Дослідження поведінки споживачів, пошуко-штів, пошук наукових ресурсів, пошук обладнання, створення програмного забезпечення, тестування.	60%	3 роки

Із зазначених альтернатив обрано альтернативу № 1, так як для неї отримання ресурсів є більш ймовірним, а строки реалізації – більш стислими.

#### 5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, що наведено в табл. 5.14.

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю	Готовність	Орієнтовний	Інтенсивність	Простота
---	--------------	------------	-------------	---------------	----------

п/п	цільової групи потенційних клієнтів	споживачів сприйняти продукт	попит в межах цільової групи (сегменту)	конкуренції в сегменті	входу у сегмент
1.	Державні Установи	Готові	Середній	Низька	Середня
2.	Приватні підприємства	Готові	Високий	Низька	Середня
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №2.					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (табл. 5.15). Вибір стратегії конкурентної поведінки наведено в табл. 5.16.

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Задоволенні потреб обраного цільового сегменту	Формування попиту у користувачів за рахунок унікальних характеристик та високої якості товару	Стратегія спеціалізації

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект "першопрохідцем" на нац. ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Так	Так	Ні	Стратегія лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (табл. 5.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 5.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16) розроблено стратегію позиціонування, наведену в табл. 5.17. Стратегія позиціонування полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базов стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Товар має забезпечувати швидкість передавання даних 8 МБіт/с та більше	Спеціалізації	Високий ступінь задоволення потреб користувача, гнучкість, помірність ціни	Оптимальне співвідношення ціна/якість, наукоємність, співпраця.

### 5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримав споживач. Для цього у табл.5.18 наведені результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі аспекти, що потрібно створити)
1.	Висока швидкість передавання даних	Висока швидкість передавання наведеної мережі	Значно вища швидкість передавання даних
2.	Якість	Стабільність роботи системи	Використання високоякісного обладнання

Розроблено трирівневу маркетингову модель товару: уточнена ідея продукту (та/або послуги), його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 5.19).

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
--------------	----------------------

I. Товар за Задумом	Розгортання мереж Wi-Fi, що працює в насиченому режимі, в межах міста		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Забезпечення високих швидкостей передавання даних.	М	
	2. Помірна ціна.	М	
	3. Забезпечення достовірності переда-них повідомлень	М	
	4. Забезпечення високої швидкості пе-редавання даних (8 МБіт/с та більше) у випадку великої кількості абонентів	М	
	Якість: стабільна робота		
	Марка: "Wi-FiKyiv"		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: гарантія.		
	Після продажу: встановлення, налаштування, обслуговуван-ня, підтримка.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист ін-телектуальної власності.			

Наступним кроком визначено цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл.5.20). Аналіз проведено експертним методом.

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/ п	Рівень- цін на товари- замін- ники	Рівень- цін на товари- анало- ги	Рівень доходів цільової групис- поживачів	Верхня та нижня межівс- тановлення ціни на товар/послугу
--------------	--	--	--	--

1.	4000 у.о.	6000 у. о.	36000 у.о. і вище	7000 – 12000 у.о.
----	--------------	---------------	-------------------	-------------------

Наступним кроком визначено оптимальну систему збуту, в межах якої приймається рішення (таблиця 5.21):

збут власними силами або із залученням сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);

вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;

вибір та обґрунтування виду посередників.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.22).

Маркетингова комунікація охоплює будь-яку діяльність підприємства, спрямовану на інформування, переконання, нагадування споживачам та ринку в цілому про свої товари і свою діяльність.

Таблиця 5.21 – Формування системи збуту

№ п / п	Специфіка закупівельної поведінки цілових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник Товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Заказ послуги на сайт і безпосередньо у розробників	Встановлення налаштування, інформування, поділ, зберігання	Канал Нульового рівня	Виробник безпосередньо пропонує продукцію покупцям

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові-позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Використання послуги для передавання даних на високій швидкості. Використання у комерційних цілях	Прямі - канали комунікації, в яких інформація передається безпосередньо від інформатора до інформованої особи	Висока швидкість швидкування даних.	Поширення інформації про новий метод модуляції. Поширення знань про підприємство	Особлива увага приділяється високій швидкості передавання даних. Відмінність між послугою і послугами-замінниками.

## Висновки

1. За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження. Спостерігається попит на розгортання мереж Wi-Fi в місцях великого скупчення людей з вільним доступом до мережі Інтернет, що забезпечують високу швидкість передавання даних. Можливість ринкової комерціалізації проекту присутня.

2. Продукт є унікальним в своїй галузі. Конкурентів на національному ринку мінімальна кількість та нижча якість послуг. Для подальшого дослідження, розробки та тестування товару потрібно залучати висококваліфікованих науковців та



інженерів.

3. Для ринкової реалізації проекту доцільно обрати альтернативу – пошук наукових та технічних ресурсів, залучення інвесторів, створення реклами, взаємодія зі споживачами.

## **6 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПЛАНУВАННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ**

Для забезпечення надійного функціонування, розгортання та налагоджування безпроводової локальної мережі слід здійснювати в чотири етапи:

- планування безпроводової мережі;
- перевірка та попереднє налаштування обладнання;
- розміщення обладнання;
- тестування параметрів мережі, уточнення плану розміщення обладнання та коригування програмного налаштування.

На етапі планування доцільно виконати такі роботи:

- на поверховому плані приміщення відзначити всі перешкоди, що можуть впливати на розповсюдження радіохвиль (стіни, офісні меблі, перегородки, вентиляційні коробки, електропроводку), а також можливі джерела радіозавад (мікрохвильові печі, безпроводові телефони й інше обладнання, що функціонує в діапазоні частот локальної мережі). відзначити місця прогнозованого розташування стаціонарного безпроводового обладнання, а також зони можливого розташування користувачів мобільного обладнання. У великих локальних мережах доцільно відмітити зони активного та помірнього користування;
- проаналізувати вимоги щодо максимальної швидкості передавання між точкою доступу і клієнтським обладнанням, після чого зробити орієнтовний розрахунок за формулою (3.5) місця розташування точок доступу, беручи до уваги наявні перешкоди та необхідну пропускну здатність каналу. Під час визначення місця розташування точок доступу слід враховувати можливість підключення до джерела живлення, а також можливість підключення до проводовою мережі. Крім того, необхідно розташовувати точки доступу так, щоби випромінювана ними енергія не поширювалась далеко за межі території функціонування мережі;
- проаналізувати параметри технічного обладнання для реалізації безпроводової локальної мережі. Бажано використовувати обладнання одного виробника і однієї серії, оскільки в цьому разі гарантовано можна забезпечити задекларовані виробником характеристики і функціональні можливості цього обладнання;
- для забезпечення надійного радіопокриття й просторового обмеження зони дії безпроводової мережі доцільно використовувати виносні й спрямовані антени з відповідною діаграмою спрямованості;

- для сегментованої мережі слід визначити кількість незалежних безпроводових сегментів. Для кожного сегмента необхідно передбачити окрему частоту радіоканалу, що не перекривається з іншим;
- для підвищення надійності функціонування мережі може бути доцільним передбачити певну надлишковість мережі за рахунок більш щільного розташування точок доступу у порівнянні з розрахунковим. В разі виходу однієї з точок доступу з ладу це забезпечить функціонування мережі хоча і з меншою пропускнуою здатністю для окремих користувачів.

На етапі перевірки та попереднього налаштування обладнання необхідно зробити перевірку функціональних можливостей і його налаштування. Для цього слід розташувати безпроводові станції (точки доступу і комп'ютер з відповідним адаптером) на відстані 5-7 метрів без перешкод на лінії розповсюдження радіохвилі і протестувати режими з найбільшою швидкістю передавання для передбачених радіоканалів.

На етапі розміщення обладнання виносні антени точок доступу або самі точки доступу з вмонтованими антенами слід розташовувати на висоті 2-3 м для створення кращих умов для розповсюдження радіохвиль. Антени адаптерів стаціонарних комп'ютерів слід розташовувати так (у разі можливості), щоби вони зазнавали мінімального екранування (корпусом системного блоку або іншими предметами).

На етапі тестування параметрів мережі, уточнення плану розміщення обладнання та коригування програмного налаштування доцільно виконати такі операції:

- перевірити наявність з'єднання і забезпечення запланованої швидкості передавання для стаціонарного та мобільного обладнання за сприятливих умов (у період часу, інтенсивність користування радіозасобами найменша);
- перевірити наявність з'єднання і швидкість передавання інформаційного трафіку за найгірших умов (у період часу, найбільш інтенсивного корис-

тування радіозасобами);

- за результатами перевірок скоригувати місце розташування обладнання призначення частотних каналів та інші налаштування обладнання для досягнення запланованих показників.

## ВИСНОВКИ

1. Залежно від типу сервісу виділяють дві основні категорії мультимедійного трафіку: трафік реального часу, що обслуговує мультимедійні послуги пов'язані з передаванням інформації між користувачами у реальному часі та трафік звичайних даних, який утворюється традиційними розподіленими послугами сучасної телекомунікаційної мережі, такими, як електронна пошта, передавання файлів, віртуальний термінал, віддалений доступ до баз даних тощо. До характеристик трафіку, який генерується в мультисервісних мережах використовують такі основні параметри: величина трафіку (миттєве, максимальне, пікове, середнє і мінімальне значення), біт/с; коефіцієнт пульсації трафіку; середня тривалість пікового трафіку; середня тривалість сеансу зв'язку; формати елементів трафіку; максимальний, середній, мінімальний розміри пакету даних; інтенсивність трафіку запитів.

Параметри трафіка залежать від типу послуг, для яких його генерують, і від технологій стиснення даних застосованих в аудіовізуальних кодексах, використаних для надання відповідних послуг.

2. Здійснити аналіз роботи безпроводових технологій стандарту 802.11 та його специфікацій; Для використання технології Wi-Fi користувачі повинні дотримуватись певних технічних вимог, обумовлених частотними регуляторами, наприклад, у вигляді обмеження потужності. Домашні Wi-Fi-мережі функціонують в діапазонах 2,4 і 5 ГГц. З фізичних причин у діапазоні 2,4 ГГц мережі функціонують краще: радіосигнали цього діапазону краще поширюються крізь стіни, і сигнали поширюються далі порівняно з сигналами 5-гігагерцового діапазону (за однакового рівня потужності). У мережах, що містять дві або три активні станції ймовірність виникнення колізії під час першої спроби значно відрізняється від ймовірності виникнення колізії під час інших спроб. Безпроводові мережі в режимі DCF характеризуються великими затримками і великою нерівномірністю затримок часу передавання кадрів даних, які швидко зростають із збільшенням чис-

ла активних станцій.

3. Для оптимізації процесу передавання відеоконтенту в реальному часі необхідно дотримуватись таких рекомендацій: обрати кодек, що забезпечує адаптацію до пропускної здатності телекомунікаційного каналу, використовувати режим пріоритезації трафіка, контролювати кількість активних клієнтів в мережі і обмежувати доступ новим клієнтам в разі великого навантаження на безпроводовий канал, в зоні великого скупчення користувачів організовувати мережі з великою кількістю точок доступу і невеликою потужністю передавачів, для обслуговування кодною точкою доступу невеликої кількості користувачів.

4. У разі, якщо мультимедійний трафік інформаційної мережі складається з коротких пакетів даних, що, наприклад, характерно для голосового трафіку, тоді максимальна пропускна здатність безпроводового каналу зменшується в 5-7 разів залежно від застосованого протоколу мережного рівня (з установленням з'єднання або без установлення). Така деградація пропускної здатності мережі може даватись взнаки тільки у мережах з великою кількістю активних станцій або насиченим трафіком, оскільки рівень пропускної здатності за інших умов залишається достатнім для забезпечення відповідних мультимедійних послуг.

5. Для більшості застосувань кращі властивості мають кодеки з втратами інформації, оскільки малопомітне погіршення якості обумовлює значне зменшення обсягу даних. Кодеки які доцільно використовувати це комбіновані (гібридні) кодеки, які поєднують технологію вокодерной перетворення/синтезу мови, але оперують уже з цифровим сигналом за допомогою спеціалізованих DSP. Кодеки цього типу містять ІКМ або АДІКМ кодек і реалізований цифровим способом вокодер. Кодек G.723.1. Застосування вокодера дозволяє знизити швидкість передачі даних в каналі, що принципово важливо для ефективного використання радіотракта і IP каналу.

6. Для забезпечення якісних показників мультимедійних послуг треба дотримуватись рекомендацій, наведених в документах RFC 1540 та RFC 1541, проте засто-

сування досконалих кодеків і організація безпроводової мережі з урахуванням наведених в даній роботі рекомендацій дозволяють зменшити вимоги до параметрів мереж і в той же час забезпечити високу якість надання мультисервісних послуг.

7. Зробити порівняння теоретичних та експериментальних значень.

Здійснені в роботі дослідження засвідчили хороше співпадіння теоретичних та практично визначених параметрів безпроводової мережі. За умов правильного планування безпроводової мережі технологія Wi-Fi здатна забезпечити надійне функціонування мультисервісної безпроводової мережі з наданням послуг відповідного рівня якості.

1. A. Leon-Garcia and I. Widjaja, Communication Networks: Fundamental Concepts and Key Architectures, McGraw-Hill, 2000.
2. J. Leigh, O. Yu, D. Schonfeld, R. Ansari, et. al., “Adaptive networking for tele-immersion”, Proc. Immersive Projection Technology/Eurographics Virtual Environments Workshop(IPT/EGVE), Stuttgart, Germany, 2001.
3. Shashank Khanvilkar, Faisal Bashir, Dan Schonfeld, and Ashfaq Khokhar University of Illinois at Chicago, Multimedia Networks and Communication <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.12.8925&rep=rep1&type=pdf>
4. О.Б. Малиновський, А.В. Ржеуський, Н.В. Веретеннікова, Н.Е. Кунанець ;мультимедійні ресурси в інформаційному обслуговуванні користувачів бібліотек ,2015URL:[http://www.irbisnbn.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbnv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/bdi\\_2015\\_4\\_9.pdf](http://www.irbisnbn.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbnv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/bdi_2015_4_9.pdf)
5. HTML презентації як альтернатива традиційним віртуальним виставкам. URL; <http://panbibliotekar.blogspot.com/search?q=HTML&x=0&y=0>. – Заголовок з екрана.
- 6.Joanne V.Romano Understanding eScience: Reflections on a Houston Symposium /Joanne V.Romano, Allen Lopez, Maianh Phi // Journal of eScience Librarianship. – 2012. – Vol. 1, № 2. Режим доступу : <http://escholarship.umassmed.edu/jeslib/vol1/iss2/6/> – Заголовок з екрана.
7. Kajberg Leif Are We Experiencing the End of the Library as We Know It? Speculating on the Future of Libraries as «Space of Flows» / Leif Kajberg, Erencan Gökçeki // E-Science and Information management. – Turkey, 2012. – P. 33-45.
8. SO/IEC 13818: 'Generic coding of moving pictures and associated audio (MPEG-2)
- 9.Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения. М.: - Техносфера, 2005. - 368 с



10. ISO/IEC 11172: 'Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 Mbit/s'.

11. IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003), Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.

12. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера, 2006.

13. Рошан Педжман, Лиэри Джонатан. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 304 с. 88 с.

14. ITU-T Recommendation H.323 Version 3 Packet Based Multimedia Communication Systems, 1998.

15. Сети IEEE 802.11. URL: [www.rsasecurity.com/rsalabs/technotes/wep-fix.html](http://www.rsasecurity.com/rsalabs/technotes/wep-fix.html), 19.05.2016.

16. Дмитрий Денисов. В Wi-Fi «закончились» частоты. Решение – DFS/ URL: <https://nag.ru/articles/article/32561/v-wi-fi-zakonchilis-chastoty-reshenie-dfs.html>

17. Обзор стандарта Wi-Fi 802.11/ac. Характеристики и особенности. URL: <http://www.ubnt.ru/review/standard-wifi-802-11-ac.htm>, 13.05.2017

18. 802.11n – беспроводной стандарт с проводной скоростью передачи. URL: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/8602/doc/45654/>, 10.02.2018.

19. Базовые положения стандарта IEEE 802.11n для сетей Wi-Fi. URL: <https://help.keenetic.net/hc/ru/articles/213968809>, 29.01.2017 19:28.

20. Learn about Multiple-Input Multiple-Output. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000005714/network-and-io/wireless-networking.html>, 17.02.2018.

21. Wi-Fi 802.11n: теория и практика. URL: <https://www.osp.ru/pcworld/2008/03/4951638/>, 14.03.2018.

22. Макаренко В. В. Особенности стандарта беспроводной связи IEEE

802.11ac (Wi-Fi) / Электронные компоненты и системы, №7, 2012. с.28-35. – [http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/V.Makarenko\\_STANDARD%20IEEE%20802.11ac%20\(Wi-Fi\)\\_EKIS\\_7\\_2012-3.pdf](http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/V.Makarenko_STANDARD%20IEEE%20802.11ac%20(Wi-Fi)_EKIS_7_2012-3.pdf).

23. Краткое описание стандарта беспроводных сетей IEEE 802.11ac. URL:<https://help.keenetic.net/hc/ru/articles/B9-IEEE-802-11ac>, 16.01.2018.

24. Пространственные потоки в устройствах WiFi-стандарта с MIMO. URL: <http://wi-life.ru/wifi-academy-rus/wifi-academy-mimo-spatial-streams>, 07.03.2018.

25. Новый стандарт 802.11ax. URL: <https://lanmarket.ua/stats/novyuy-standart-802-11ax-uvelichenie-proizvoditelnosti-wi-fi-v-4-raza>, 16.01.2018.

26. А. Г. Кирьянов, А. И. Ляхов, Д. А. Михлина, Е. М. Хоров, И. А. Щелкина. Проблемы создания IEEE802.11ax – нового поколения сетей Wi-Fi. Информационные процессы, Том16, №1, 2016, стр.1–12.

27. Физический уровень технологии 802.11ax. URL: <http://www.techonline.com/electricalengineers/educationtraining/techpapers/4442856/802-11ax-High-Efficiency-Wireless/viewpdf>, 05.02.2018.

28. Типы фреймов сети стандарта IEEE 802.11. URL: <http://wi-life.ru/tehnologii/wi-fi/wi-fi-frames-manage-ment-control-data>.

29. Ануансах Р .Б . /Забезпечення якісних показників в безпроводових мультимедійних мережах // XI Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених «ЕЛЕКТРОНІКА-2018» 3-5 квітня 2018 року, Київ / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» , Секція 7 No – С. 389 -402

30. Розроблення стартап-проекту URL: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей /За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ:НТУУ, 2016. – 28 с.

## ДОДАТОК А

### Abstract

Wireless technology - Information technology designed for wireless transmission of information at a distance between two or more objects. Infra-red radiation, radio waves, optical or laser radiation can be used to transmit information. Today there are many wireless technologies known to users under their marketing names such as Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, etc.

In today's wireless networks, large volumes of multimedia traffic are being transmitted. Some parameters of telecommunication networks must be provided for the successful transfer of certain types of such traffic. In the case of a large integrated traffic intensity, packet delays and packet loss may be unacceptable, which ultimately results in low-quality telecommunication and information services. Wireless technology today is rapidly developing. This is due to an increase in the number of mobile computers that connect to the Internet, which has already reached incredible levels in its development. Constant access to the Internet in recent years has become an integral part of life for the people of civilized countries.

Major industry developments over the past few years have brought audio-, video-, and data-enhanced, real-time communications out from the realm of highly specialized applications. Multimedia communications have become part of the standard set of functions supported by the corporate network infrastructure.

In various branches of industry, agriculture, and military, there is a need to organize reliable systems for managing distributed objects and combining them into a global network. Similar trends are observed throughout the world and lead to the inevitable development of wireless communication technologies.

With the development of technologies, the unlimited wireless multimedia services have become an integral part. For streaming media, the basic requirement for technology is high bit rate. The maximum wireless data transmission speeds provided by the standards allows you to transfer large data streams in real time without delay. In practice, the bandwidth of the channel is much lower, as the standards do not take into account the time for the transmission of service messages and the case of saturated load of the transmission channel, which today is an urgent problem. Therefore, it is necessary to find out the real bit rate of wireless networks in the case of streaming video content in saturated mode and determine ways to increase bandwidth to provide unlimited wireless multimedia services. Therefore, it can be argued that the topic of the master's degree is relevant.

Today, multimedia technologies are one of the most promising areas in informatization of the educational process. Multimedia and hypermedia technologies integrate powerful distributed educational resources that can provide an environment for the formation and development of key competencies, which are primarily informational and communicative.

Multimedia and telecommunication technologies open fundamentally new methodological approaches to the organization of pedagogical process in the system of general education. Equally important is that multimedia-based interactive technologies will solve the problem of rural school provincialism, both on the basis of Internet communications, and through interactive CD-courses and the use of satellite Internet in schools.

Multimedia is a system of integrated interaction of visual and audio effects under the control of interactive software using modern technical and software tools that combine text, sound, graphics, photos, videos, etc. in one digital playback. Multimedia is a combination of different forms of presentation of information on a single medium, for

example, textual, audio and graphic, or, more recently, animations and videos. Characteristic, if not decisive, the feature of multimedia Web sites and CDs - hyperlinks. Concept, which means the combination of sound, text and digital signals, as well as still and moving images. So, the multimedia database will contain text and image information, video clips and spreadsheets, and all of this has equally easy access. A multimedia telecommunication service allows the user to send and receive any form of information, interchangeable at will. The modern view of multimedia communications and multimedia networks has its roots in videoconferencing. The traditional view of multimedia-enabled networks often looks for tangible value in terms of cost savings, especially reduced travel expenses. Videoconferencing allows individuals and groups to meet face-to-face without the expense and wear and tear associated with costly travel. As videoconferencing endpoints are installed throughout the corporation, it becomes easier and less expensive for far-flung project workgroups to meet regularly, and for managers to confer with colleagues and subordinates on a more personal level. But many people who regularly participate in videoconferences are convinced that saving money on travel represents only a fraction of the bottom-line benefits.

Videoconferencing speeds communications and helps employees work together and be more efficient. The real value is not in expense reduction, though expense reduction is usually the most tangible and quantifiable benefit, but in getting more things accomplished in less time with fewer people. Rapid communication is the real lifeblood of many businesses, whether it enables a parts designer to solve problems with a manufacturing engineer on the factory floor, a sales agent to interact with a customer across town, or a marketing manager to collaborate with a remote expert on the other side of the globe. The video-enabled network is thus the foundation for a better way to accomplish traditional tasks. Because these conferences are easier to do than in-person meetings, more of them get done, with more people, at less cost.

Another useful videoconferencing technology based application is delivery of

broadcast (one-way) audio-video streams. With a multimedia-enabled network, corporations can deliver to suitably equipped desktops and conference rooms live newscasts such as CNN as well as live internal broadcasts such as annual shareholders meetings, special messages from the president, or even new product announcements from the marketing department. The costs and network challenges are significant, but in cases where timely delivery of news is crucial, such as for Wall Street trading stations and financial services companies, networks supporting multimedia broadcasts are rapidly being installed.

IP-based telephony, another new technology, is also known as voice-over-IP (VoIP). For consumers, the allure is the possibility of using the Internet to make long distance calls for the price of a local connection. For corporations, the tangible benefit is also cost reduction by using the installed data network or intranet to carry voice traffic which would otherwise be traveling over the toll-based public telephone system. Many corporations have an extensive IP network already installed, and the ability to deliver voice (and other multimedia) services will evolve and improve as switching, routing, and MPOA (multi-protocol over ATM) breakthroughs are incorporated.

There are many technical challenges and tradeoffs facing the network manager with VoIP, but it remains one of today's fastest growing markets, perhaps because the cost savings are so direct and measurable. By some accounts, the average enterprise pays about eight cents per minute for internal telephone calling; with VoIP this can be reduced to less than two cents. For "greenfield" installations, there is even serious talk of using VoIP technology to eliminate the PBX entirely and have a networked server perform all the call control functions now allocated to dedicated switches. A related application with far fewer technical challenges is fax-over-IP. (Fax traffic in corporations is much lighter than voice traffic, but fax messages work far better in a store-and-forward-based system.) Lately, the ITU adopted a new standard for real-time fax-over-IP in which remote fax machines are connected over a packet-switched network and endure

the latency and out-of-sequence packets problems.

A third class of applications facing network managers can be collectively described as the delivery of store-and-forward video. Whether the content is a recent speech by the chairman, a training tape on the latest product, an explanation of the company's health benefit plan, or a company-required education program on sexual harassment, the network issues are the same"bringing TV-quality audio and video to the desktop with VCR-like user controls for pause, rewind, and so on. A new class of hardware/software products called video servers with a wide range of functionality and performance are now coming to the market, designed for a range of network capabilities. Video servers make it quite feasible to "plug-in" store-and-forward capabilities to any multimedia-ready network. Many of these products are also looking at IP delivery mechanisms and are driving the interest in IP multicasting.

Wireless LAN technology (802.11 standard) uses part of the frequency spectrum that is not subject to compulsory licensing. According to various specifications of this technology, it is intended to use BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM and OFDMA-modulation, supports up to 64 carrier frequencies and can use SISO, MISO and MIMO antennas[25]. The 802.11 standard allows for the use of the RTS / CTS mode (send / receive request) to control the station's access to the radio channel. As a rule, only high-speed high-speed wireless LANs offer RTS / CTS. You will not find the implementation of such an interface in inexpensive home or SOHO devices. Due to the proper use of RTS / CTS, you can fine-tune the operation of your wireless LAN depending on the working environment. If you turn on RTS / CTS at a specific station, it will not send data frames until the RTS / CTS frames are pre-fetched with another station, such as an access point. The station that is going to transmit the data frame initiates the process of

sending the RTS frame. The access point receives RTS and corresponds to the CTS frame. Before transmitting the data frame, the station must definitely receive a CTS frame. The CTS contains the time value that should take into account other stations that are ready to transmit their information. During this time, all other stations must refuse access to the environment, while the station that initiates the RTS transmits its data. [3]

PCF access point coordination function. If the IEEE 802.11 network requires unhindered operation, then use special wireless stations called coordination points that allow other stations to transmit frames after a shorter than usual time interval. The coordinate points are only at the access point (Access Point), since the PCF function is provided for the infrastructure network.

Distributed Coordination Function (DCF) is the core technology of the IEEE 802.11 MAC level for WLAN. In DCF mode, the CSMA / CA access method is used with binary exponential algorithm for repeated attempts in the event of collisions. In DCF mode, the station that is ready to transmit the data frame must listen to the channel state during the DIFS interval. If the selected channel is busy during the DIFS interval, the station refuses to transmit.

On a network where there are several active stations pretending to access a wireless channel, they all postpone access if the channel is busy, but they almost simultaneously determine that the channel is being released and try to capture the channel. As a result, there may be collisions (collisions). In order to avoid such collisions, DCF mode applied an additional delay, which is a random amount of time. The DCF also has an additional virtual verification mechanism for stations that exchange short-frame "Request-to-send (RTS)" and "Clear-to-send" (CTS). The DCF has a successful transmission confirmation scheme, which means that if the frame is successfully adopted by the destination, then the destination must send the ACK confirmation frame to inform the source of the successful reception. DCF does not solve



the problem of a hidden terminal. This problem can be solved by using RTS and CTS.

According to the results of the research, it can be concluded that the access to the network is provided by the transmission of broadband signals through the air. The receiving station may receive signals in the range of operation of several transmitting stations. The receiver station uses the Service Set Identifier (SSID) to filter the received signals and select the signal to which it is addressed. DCF does not solve the problem of a hidden terminal. This problem can be solved by using RTS and CTS. The DCF mode is defined in clause 9.3 of the IEEE 802.11 standard and is de facto mandatory for Wi-Fi (802.11) equipment. DCF mode leads to significant airtime costs. To reduce the time spent, control messages usually transmit very little information.

For example, an ACK message may require up to 60  $\mu$ s for full transmission. This is the time during which you can transfer 3240 bits at 54 Mbps. The IEEE 802.11 standard also defines an optional access method based on using the access point coordination function (PCF). The PCF allows the access point to act as a network coordinator to control access to the channel. The specification of the IEEE 802.11e standard enhances DCF and PCF through a new coordination feature called the Hybrid Coordinating Function (HCF). The most advanced mode of competitive access is proposed in the 802.11a .

The proposed recommendations, based on the research carried out in the dissertation, will be useful to designers and users of wireless networks IEEE 802.11 standard for ensuring the quality of telecommunication and information services. The research results presented in the dissertation can be used in the educational process for the training of specialists specializing in the provision of multimedia services or using wireless networks in their professional activities.